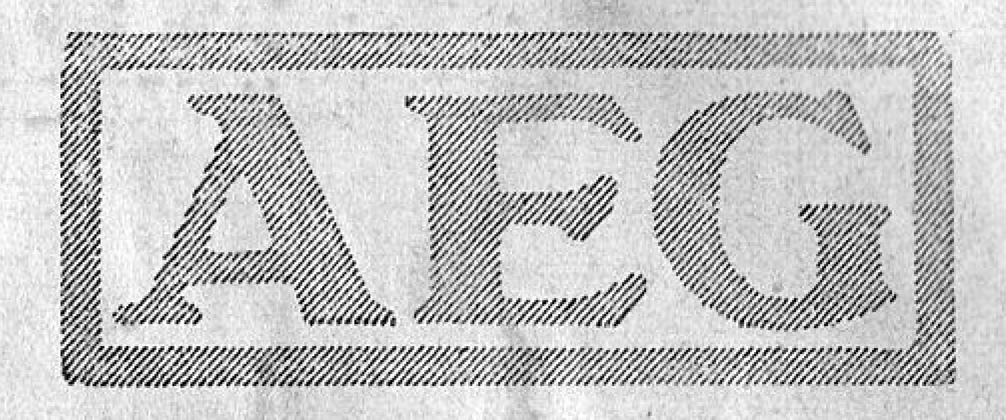


HILFSBUCH FÜR ELEKTRISCHE LICHT- UND KRAFT-ANLAGEN

2. Ausgabe

1925
Allgemeine Elektricitäts - Gesellschaft
Berlin

Das vorliegende Hilfsbuch soll durch seine zahlreichen Winke und Erfahrungswerte den Fachmann bei dem Entwurf, der Ausführung und dem Betriebe elektrischer Licht- und Kraftanlagen unterstützen und die sachgemäße Anwendung aller elektrotechnischen Erzeugnisse fördern. Dem Nichtfachkundigen ist daneben Gelegenheit geboten, sich über elektrotechnische Bezeichnungen in kürzester Form zu unterrichten.

Diese zweite Ausgabe ist dem jetzigen Stand der Technik angepaßt und durch den Ausbau bereits früher behandelter sowie die Aufnahme neuer Gebiete vervollständigt worden. Diese Erweiterungen erstrecken sich insbesondere auf die Abschnitte Stromerzeugungsanlagen, Hochspannungseinrichtungen und Messungen. Dagegen unterblieb die Sonderbehandlung derjenigen Teile der Starkstromtechnik, welche inzwischen in eigenen Schriften dargestellt worden sind, deren Aufzählung sich aber am Schlusse dieses Buches findet.

Die Angaben des Hilfsbuches werden ohne Verbindlichkeit gemacht und, soweit sie Eigenschaften von Fabrikaten darstellen, bleibt ihre Änderung vorbehalten.

Von den mit TWL-Nummern versehenen Abbildungen werden Glasbilder (Diapositive) zu Vorträgen und Unterrichtszwecken leihweise abgegeben.

INHALT

Bemessung und Verlegung von Leitungen

Messungen und Meßgeräte

Elektrische Beleuchtung und Erwärmung

Motoren

Anhang

Verwendete Abkürzungen

VDE = Verband Deutscher Elektrotechniker.
REA = Regeln und Normen für Anlasser und Steuergeräte.
REM = Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen.
RET = Regeln für die Bewertung und Prüfung von Transformatoren.
ETZ = Elektrotechnische Zeitschrift.
TWL = Technisch-Wissenschaftliche Lehrmittel-Zentrale,
DIN = Deutsche Industrie-Normen.
PTR = Physikalisch-Technische Reichsanstalt.

Elektrotechnische Bezeichnungen.

Die Stärke eines elektrischen Stromes **(Stromstärke)** hängt von der Höhe der **Spannung**, unter welcher er entsteht, und von dem **Widerstand** ab, welchen der den Strom leitende Körper seinem Durchgang entgegensetzt. Das Maß für die Spannung ist das **Volt** (V), dasjenige für den Widerstand das **Ohm** (Ω), während die Einheit für die Stromstärke das **Ampere** (Amp.) ist. 1 Ampere ist die Stärke desjenigen Stromes, welcher durch einen Leiter von 1 Ohm Widerstand fließt, wenn zwischen seinen beiden Enden die Spannung 1 Volt herrscht.

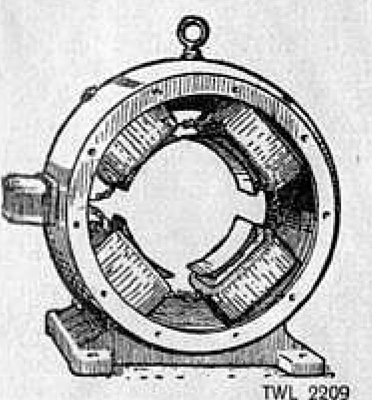


Abb. 1. Magnetgehäuse.

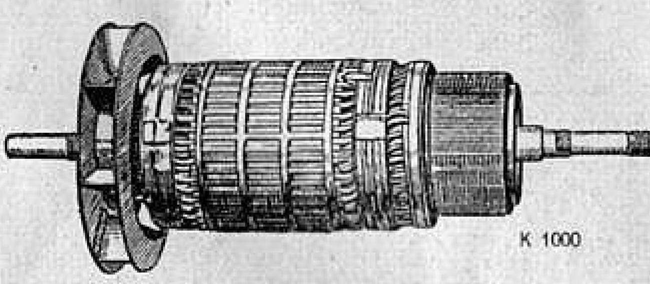


Abb. 2. Gleichstromanker mit Kollektor.

Dynamomaschinen oder **Generatoren** sind Maschinen, welche elektrischen Strom durch Induktion erzeugen. Jede Maschine besteht aus den **Feldmagneten** und dem **Anker.** Erstere sind ruhende Elektromagnete (Abb. 1), zwischen denen der Anker sich dreht. In ihm wird der Strom erzeugt. Um einen nur in einer Richtung fließenden Strom **(Gleichstrom)** zu erzielen, erhält der Anker (Abb. 2) einen **Kommutator** oder **Kollektor** (Abb. 3). Dieser besteht aus zahlreichen, zu einem Zylinder aneinandergefügten, gegeneinander isolierten Kupferstreifen, **Segmenten,** die einzeln mit den vielen Drahtschleifen des Ankers, **Ankerspulen** (Abb. 4), verbunden sind. Auf dem Kollektor gleiten Metall- oder Kohlestücke, die **Bürsten** (Abb. 5). Sie werden von **Bürstenhaltern** (Abb. 6) getragen, welche die Bürsten federnd andrücken und häufig zu mehreren auf einem **Bürstenbolzen** aufgereiht sind. Alle Bürstenbolzen eines Generators werden von einem Gußkörper getragen, der **Bürstenbrille (Bürstenhalterstern, Bürstenjoch)** (Abb. 7). Von den Bürstenbolzen wird dann der Strom in ruhende Drahtleitungen übergeführt.

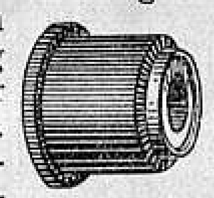


Abb. 3. Kollektor.

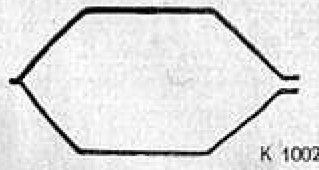


Abb. 4. Ankerspule

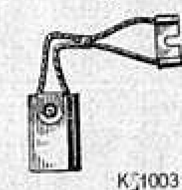


Abb. 5. Bürste.

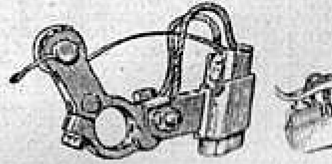
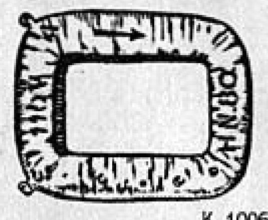


Abb. 6. Bürstenhalter.

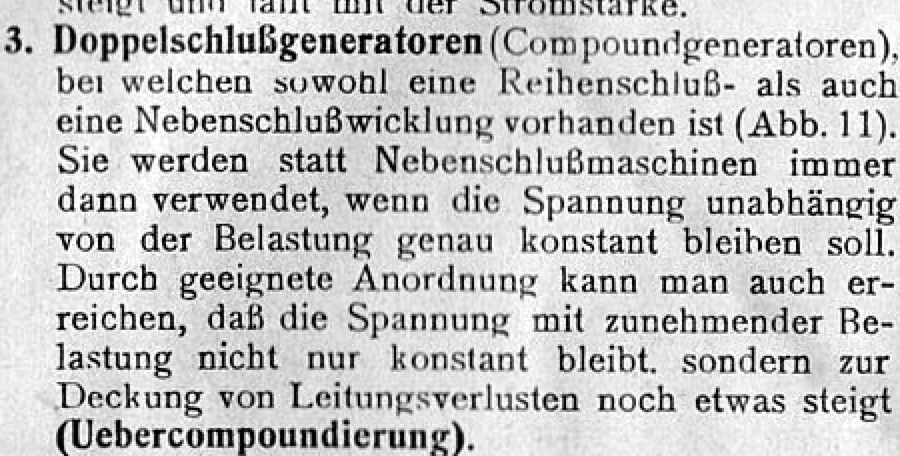
K 1005
Abb. 7. Bürstenbrille.

Die Drahtumwicklung der **Feldmagnete** (Abb. 8) wird stets mit Gleichstrom gespeist **(erregt).** Bei Gleichstromgeneratoren entnimmt man den Erregerstrom dem im eigenen Anker erzeugten Strom, dem Hauptstrom. Je nach dem Anteil des Stromes, der durch die Magnetwicklung fließt, unterscheidet man:

1. **Nebenschlußgeneratoren**, bei welchen die Magnetwicklung zum Hauptstrom im Nebenschluß liegt (Abb. 9), bei welchen also nur ein Teil des Hauptstroms die Feldspulen durchfließt. Diese finden die häufigste Anwendung. Ihre Spannung wird von der Stärke des entnommenen Stromes nur wenig beeinflußt. Bei zunehmendem Strom fällt die Spannung etwas ab.



K 1006
Abb. 8. Feldmagnetspule.



2. **Reihenschlußgeneratoren**, bei welchen der ganze von dem Generator abgenommene Strom durch die Magnetwicklung fließt (Abb. 10). Sie werden nur in Sonderfällen verwandt, ihre Spannung steigt und fällt mit der Stromstärke.

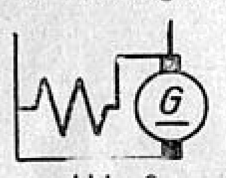


Abb. 9. 1007
Nebenschlußgenerator.

3. **Doppelschlußgeneratoren** (Compoundgeneratoren), bei welchen sowohl eine Reihenschluß- als auch eine Nebenschlußwicklung vorhanden ist (Abb. 11). Sie werden statt Nebenschlußmaschinen immer dann verwendet, wenn die Spannung unabhängig von der Belastung genau konstant bleiben soll. Durch geeignete Anordnung kann man auch erreichen, daß die Spannung mit zunehmender Belastung nicht nur konstant bleibt, sondern zur Deckung von Leitungsverlusten noch etwas steigt **(Uebercompoundierung)**.

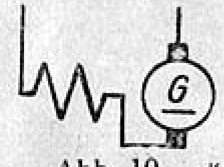


Abb. 10. K 1008
Reihenschlußgenerator.

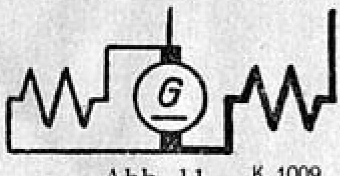
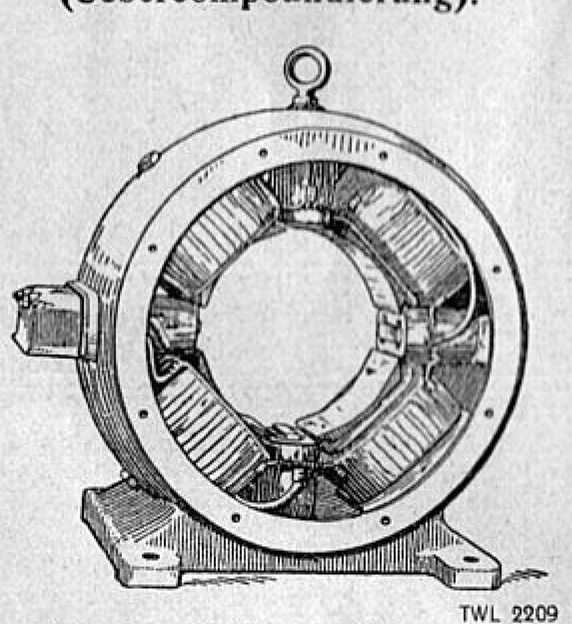


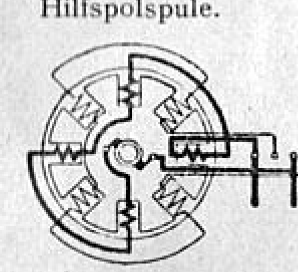
Abb. 11. K 1009
Doppelschlußgenerat .

Außer den normalen Feldmagneten erhalten Gleichstrommaschinen in neuerer Zeit meist **Hilfspole** oder **Wendepole,** welche zwischen den Hauptmagneten sitzen (Abb. 12 und 13), und deren Wicklung vom Hauptstrom durchflossen wird (Abb. 14). Sie haben den Zweck, das Gleichrichten des Stromes durch den Kollektor zu erleichtern und die Funkenbildung auf dem Kollektor, das Feuern, auch bei stark schwankender Belastung zu vermeiden.



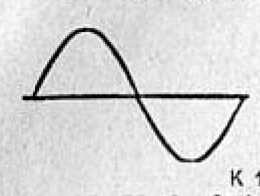
TWL 2209
Abb. 12. Gleichstrom-Magnetgehäuse mit Hilfspolen.

Abb. 13.
Hilfspolspule.



K 1011
Abb. 14. Stromverlauf in den Hilfspolen.

Unter Fortfall des Kollektors kann man Generatoren so einrichten, daß man dem Anker den ursprünglich in ihm erzeugten Strom als **Wechselstrom** entnimmt. Dieser fließt, gleichsam pulsierend, abwechselnd in der einen und anderen Richtung und nimmt fortdauernd in seiner Stärke zu und ab. Sein Wesen wird am besten durch eine Welle (Periode) dargestellt, deren erste Hälfte den Stromverlauf in einer Richtung, deren zweite Hälfte denjenigen in der entgegengesetzten Richtung wiedergibt (Abb. 15).



K 1012
Abb. 15. Verlauf eines Wechselstromes.

Wechselströme unterscheiden sich untereinander insbesondere durch die Häufigkeit der Wechsel in der Sekunde **(Wechselzahl)**. Zwei Wechsel bilden eine **Periode.** Die Anzahl der Perioden in der Sekunde heißt **Frequenz.** In Deutschland sind 50 Perioden = 100 Wechsel üblich.

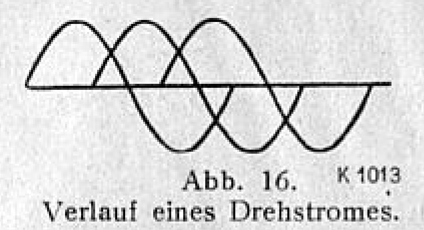


Abb. 16. K 1013
Verlauf eines Drehstromes.

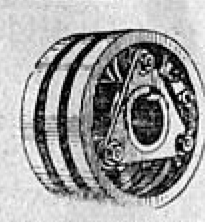


Abb. 17. K 1015
Schleifringe.

Außer dem einfachen Wechselstrom, dargestellt durch eine Welle **(einphasiger Wechselstrom),** gibt es mehrphasige, von denen insbesondere der dreiphasige Wechselstrom, der **Drehstrom,** von Bedeutung ist. Er besteht aus drei Wechselströmen, deren Pulsationen je um ein Drittel einer Periode gegeneinander verschoben sind, wie dies die drei Wellen der Abb. 16 veranschaulichen.

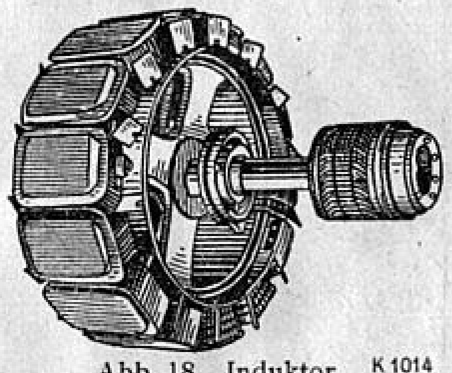


Abb. 18. Induktor K 1014
eines Drehstromgenerators mit Anker der Erregermaschine.

Wechselstromgeneratoren erhalten statt des Kollektors zur Entnahme des im Anker erzeugten Stromes einfache **Schleifringe** (Abb. 17), auf denen die Bürsten gleiten. Sie werden jedoch meistens so gebaut, daß der Anker stillsteht **(Gehäuse)** und die Feldmagnete in diesem rotieren **(Induktor)** (Abb. 18). Der zur Speisung **(Erregung)** der Feldmagnete erforderliche Gleichstrom wird dann durch zwei Schleifringe dem Induktor zugeführt und entweder einer besonderen Gleichstromquelle entnommen **(Fremderregung)** oder von einer mit der Wechselstrommaschine direkt gekuppelten kleinen **Erregermaschine** geliefert (Abb. 19).

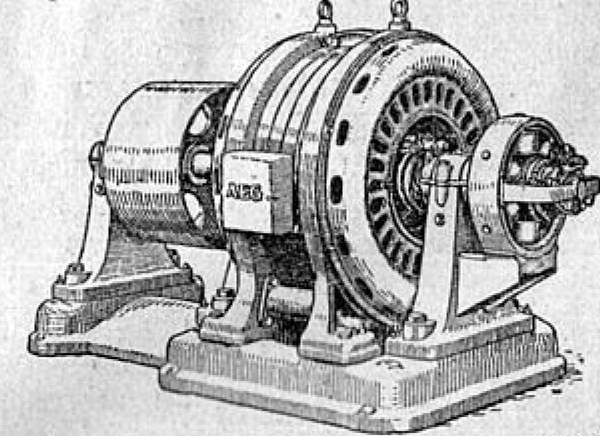


Abb. 19. K 1016
Drehstromgenerator mit Erregermaschine.

Der Anker (Gehäuse) von Drehstromgeneratoren enthält drei Gruppen von Spulen. Die sechs Enden dieser drei Wicklungen sind jedoch so zusammengefaßt, daß sie nur zu drei Klemmen führen. Die Schaltung der drei Wicklungen erfolgt entweder so, daß je ein Ende jeder Wicklung in einem Punkt **(Sternpunkt)** zusammengelegt wird **(Sternschaltung)** (Abb. 20), oder so, daß die Wicklungen ein Dreieck bilden **(Dreieckschaltung)** (Abb. 21). Von dem Mittelpunkt des Sternes (Abb. 20), dem Nullpunkt, kann ebenfalls eine Leitung ausgehen. Die zwischen dieser **neutralen** oder **Nulleitung** und den Hauptleitungen des Drehstromsystems herrschende Spannung heißt **Phasenspannung,** diejenige zwischen zwei Hauptleitungen verkettete Spannung oder **Hauptspannung.** Die Hauptspannung ist gleich der Phasenspannung mal 1,73 (Abb. 22).

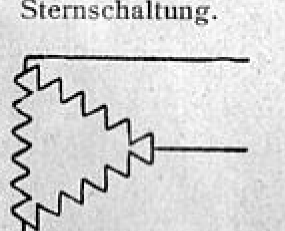


Abb. 20. TWL 2214
Sternschaltung.

Abb. 21. TWL 2214
Dreieckschaltung.

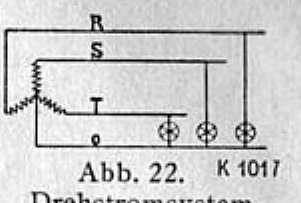


Abb. 22. K 1017
Drehstromsystem mit Nulleitung.

Elektrische Leistung, z. B. die Leistung eines Generators, wird ausgedrückt in **Watt** (W). Bei

Gleichstrom ist die Leistung gleich dem Produkt aus Spannung und Strom (Watt = Volt × Ampere). **1 Kilowatt** (kW) ist gleich 1000 Watt. Elektrische Arbeit ergibt sich aus dem Produkt der Leistung und der Zeit, in der die Leistung wirkt, und wird gemessen in **Wattstunden** (W-Std.) bzw. **Kilowattstunden** (kW-Std.)

Während bei Gleichstrom stets Watt gleich Volt mal Ampere sind, gilt **für Drehstrom: Watt gleich 1,73 mal Volt mal Ampere** (einer Leitung) **mal cos φ.** Hierin ist **cos φ** der mathematische Ausdruck für den **Leistungsfaktor.** Derselbe stellt das Verhältnis der scheinbaren Leistung in **Voltampere** (gleich Volt mal Ampere mal 1,73) zur wirklichen Leistung in Watt dar. Er kann nie größer als 1 sein und beträgt z. B. bei vollbelasteten Motoren 0,8—0,9.

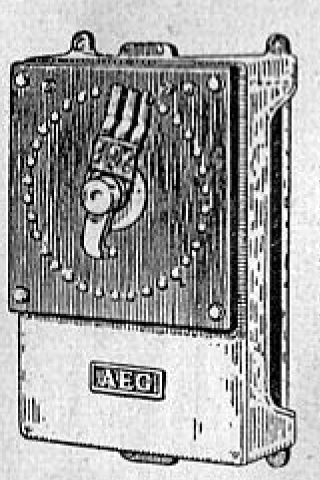


Abb. 23. K 1018
Nebenschlußregler (Handrad hinten).

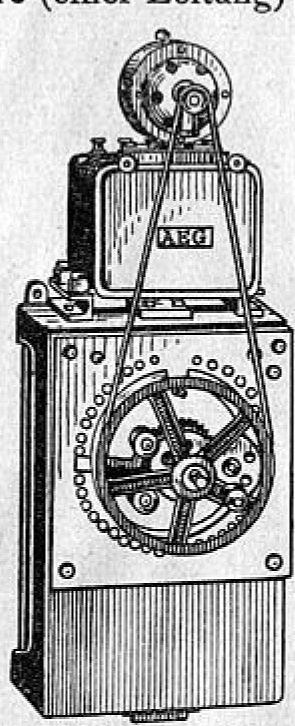


Abb. 24. K 1019
Selbsttätiger Nebenschlußregler.

Da sich bei Generatoren die Spannung in gewissen Grenzen je nach der Größe der Belastung ändert, ist, um die gewünschte Gleichmäßigkeit der Spannung zu erzielen, eine Regelung derselben notwendig. Die Spannung ist nun von der Stärke des magnetischen Feldes abhängig; die Regelung erfolgt daher durch Veränderung der Stromstärke in der Wicklung der Feldmagnete. Die hierzu verwendeten **Nebenschlußregler** (Abb. 23) sind Widerstände, in denen ein Teil der für die Erregung bestimmten elektrischen Energie vernichtet werden kann. Die Regelung erfolgt durch eine Kurbel, welche beliebige Werte des Widerstandes einzuschalten gestattet.

Während bei Gleichstrom nur dieser Nebenschlußregler in Frage kommt, kann man dagegen bei Drehstrom mit direkt gekuppelten Erregermaschinen einmal einen Nebenschlußregler in die Magnetwicklung der Erregermaschine schalten und außerdem einen ähnlichen in die Erregerwicklung der Drehstrommaschine selbst, das ist also der Hauptstromkreis der Erregermaschine. Diesen Regler bezeichnet man zum Unterschied als **Magnetregler** des Drehstromgenerators.

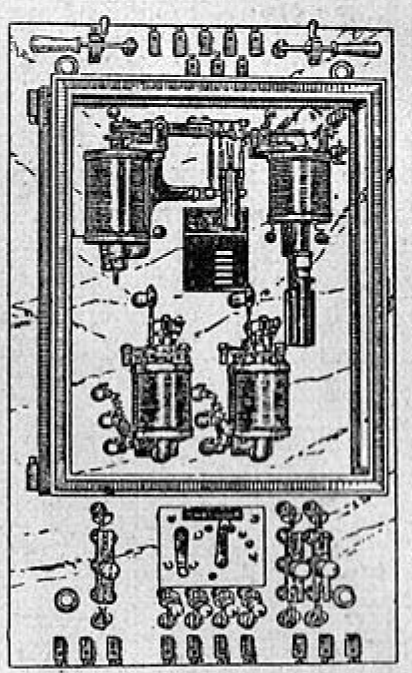


Abb. 25. K 1020
Tirrillregler.

Bei Betrieben, welche infolge einer häufigen Belastungsänderung einer dauernden Regelung der Spannung bedürfen, werden zweckmäßig **selbsttätige Nebenschluß- und Magnetregler (Selbstregler)** (Abb. 24) verwendet. Die Kurbel wird hier durch einen kleinen Elektromotor gedreht, dessen Ein- und Ausschaltung in der einen oder anderen Richtung vermittels Elektromagneten in unmittelbarer Abhängigkeit von den Spannungsschwankungen bewirkt wird.

Um Spannungsschwankungen auch bei starken stoßweisen Belastungsänderungen zu verhindern, verwendet man **Tirrillregler** (Abb. 25), welche

bei Drehstrommaschinen auf die Spannung der Erregermaschine einwirken. In gleicher Weise kann auch bei Gleichstromgeneratoren die Spannung konstant gehalten werden, wenn der Generator eine besondere Erregermaschine erhält.

Im Gegensatz zum Wechsel- und Drehstrom läßt sich Gleichstrom in **Akkumulatoren** (Sammlern) aufspeichern, so daß man nach beliebiger Zeit den aufgespeicherten Strom wieder entnehmen kann. Zahlreiche **Akkumulatorenelemente** (Zellen) (Abb. 26) werden zur Erzielung der notwendigen Spannung hintereinander geschaltet und bilden dann eine **Batterie**. Von der Größe und Anzahl der Platten in einem Element hängt die Strommenge ab, welche der Akkumulator aufnehmen bzw. abgeben kann. Diese Strommenge, ausgedrückt in **Amperestunden** (gleich Ampere mal Stunden), stellt die **Kapazität** (Aufnahmefähigkeit) des Akkumulators dar.

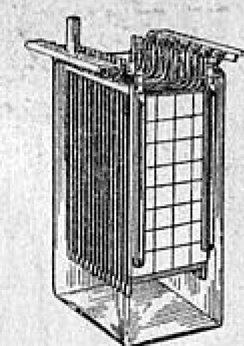


Abb. 26. K 1021 Akkumulatorenelement (Zelle).

Ein Generator, welcher für 110 oder 220 Volt gebaut ist, kann die zugehörige Akkumulatorenbatterie nicht ohne weiteres laden, da hierzu eine bis etwa 45% höhere Spannung erforderlich ist. Daher sind für Ladezwecke Maschinen für Spannungssteigerung zu verwenden oder es ist eine zweite Maschine **(Zusatzmaschine)** aufzustellen, welche durch Hintereinanderschaltung mit der Hauptmaschine die Steigerung der Gesamtspannung bis zu der gewünschten Höhe hervorbringt. Da Zusatzmaschinen nur stundenweise gebraucht werden und einer Veränderung der Drehzahl bedürfen, werden sie in der Regel durch einen besonderen Elektromotor angetrieben. Diese beiden miteinander direkt gekuppelten Maschinen stellen dann ein **Zusatzaggregat** dar.

Bei Beginn der **Entladung** ist die Spannung noch etwa 15% zu hoch. Um auf die normale Spannung von 110 bzw. 220 Volt zu kommen wird die Abschaltung einer Anzahl von Zellen erforderlich. Die Anzahl dieser Elemente muß mit fortschreitender Entladung jeweils so vermindert werden, daß dauernd die normale Betriebsspannung abgegeben wird. Zur Abschaltung dieser Zellen dienen **Zellenschalter** (Abb. 27), und zwar unterscheidet man **Einfach-** und **Doppelzellenschalter.** Erstere gestatten nur nacheinander Ladung und Entladung; letztere lassen jedoch auch während der Ladung eine gewisse Stromentnahme zu.

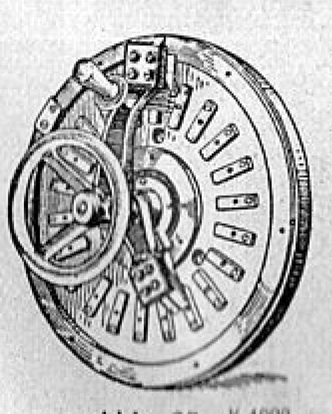
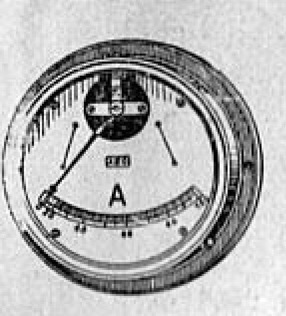


Abb. 27. K 1022 Doppelzellenschalter.

Da bei Zellenschaltern ähnlich wie bei Nebenschlußreglern ein häufiges Nachstellen erforderlich ist, hat man **automatische Zellenschalter** konstruiert, welche in gleicher Weise in Abhängigkeit von der Spannung die Verstellung der Zellenschalterkurbel vornehmen.

Da zur Verbindung der Zellenschalter mit den einzelnen Akkumulatorenzellen zahlreiche Kupferleitungen **(Zellenschalterleitungen)** erforderlich sind, ist man bestrebt, die Zellenschalter in unmittelbarer Nähe der Akkumulatoren anzubringen. Bei größeren Entfernungen verwendet man automatische Zellenschalter, zu deren **Fernbetätigung** Druckknöpfe in der Nähe des Generators angebracht werden. Auch diese Zellenschalter lassen sich für selbsttätige Spannungsregelung einrichten.

Zur Messung von Stromstärke und Spannung verwendet man Meßinstrumente, deren Zeiger auf einer Teilung die Anzahl der Ampere **(Strommesser, Amperemeter)** (Abb. 28) oder die Anzahl der Volt **(Spannungsmesser, Voltmeter)** (Abb. 29) abzulesen gestatten. Zur Messung der Leistung in Watt, insbesondere bei Wechsel- und Drehstrom, benutzt man **Leistungsmesser (Wattmeter)** (Abb. 30), deren Ablesung in gleicher Weise erfolgt.



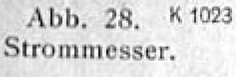


Abb. 28. K 1023 Strommesser.

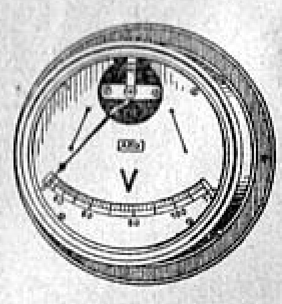


Abb. 29. K 1024 Spannungsmesser.

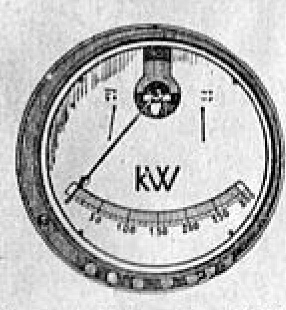


Abb. 30. K 1025 Leistungsmesser.

Zur Messung elektrischer Arbeit in Wattstunden (Kilowattstunden) werden **Zähler** (Elektrizitätszähler) (Abb. 31 und 32) verwendet, welche durch ein Zählwerk jeweils die bis zum Zeitpunkt der Ablesung durchgeleitete Energie angeben.

Schaltapparate dienen dazu, dem Strom die richtigen Wege zu weisen.

Der **Hebelschalter** (Abb. 33 und 34) oder **Schalter** stellt eine von Hand betätigte Unterbrechungsstelle in dem Weg des Stromes dar. **Hebelumschalter** (Abb. 35) sind gleichsam Stromweichen, bei denen sich der Weg des Stromes verzweigt und je nach der Stellung des Umschalters den einen oder anderen Zweig verfolgt. **Serienschalter** sind eine besondere Art **Dosenschalter (Drehschalter)** (Abb. 36), welche das Einschalten von Lampengruppen nacheinander ermöglichen. **Steckvorrichtungen** sind Unterbrechungsstellen des Stromes, in denen der feste Teil einer Leitung mit einem beweglichen verbunden wird. Daher gibt es zwei- und dreipolige Steckvorrichtungen, jede bestehend aus der **Steckdose** (Abb. 37), dem festen und dem **Stecker** (Abb. 38), dem beweglichen Teil. Da alle Stromquellen nur einen gewissen Höchstwert der Stromstärke abgeben und Leitungen nur begrenzt belastet werden dürfen, wenn nicht unzulässige Erwärmungen oder Beschädigungen auftreten sollen, so muß dafür gesorgt werden, daß der Strom selbsttätig unterbrochen wird, wenn dieser zulässige Höchstwert überschritten wird. Die hierzu verwendeten **Siche-**

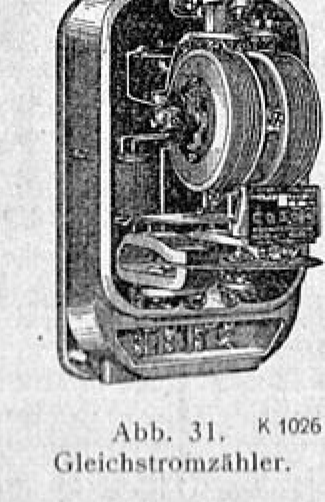


Abb. 31. K 1026 Gleichstromzähler.

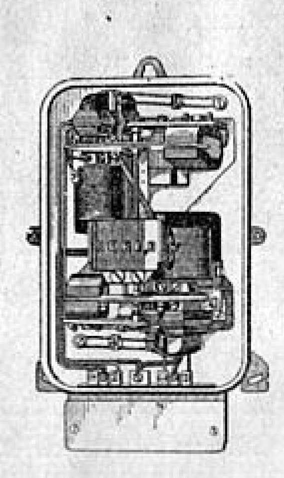
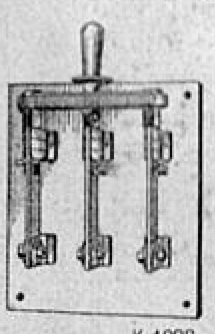
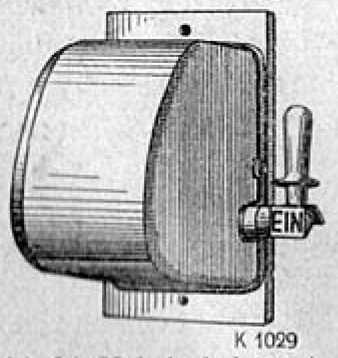


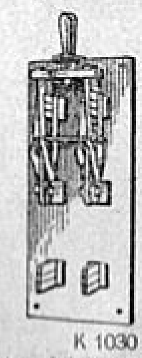
Abb. 32. K 1027 Drehstromzähler.



K 1028 Abb. 33. Hebelschalter.



K 1029 Abb. 34. Hebelschalter mit schlitzlosem Schutzkasten.

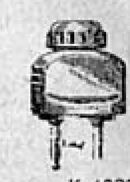


K 1030 Abb. 35. Hebelumschalter.

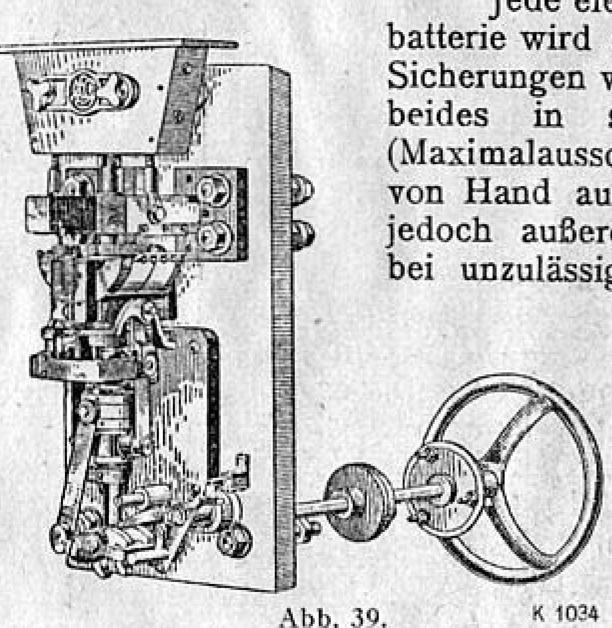
rungen (siehe Seite 24) sind im wesentlichen kurze Drähte von geringem Querschnitt, in der Regel aus Silberlegierung. Diese dünnen Drähte werden so bemessen, daß sie sich bei Steigerung der Stromstärke über das zulässige Maß hinaus schnell erwärmen und abschmelzen, so daß dann der Strom unterbrochen ist. Eine derartige Steigerung der Stromstärke kann insbesondere dadurch entstehen, daß zwei Leitungen verschiedener Polarität unmittelbar miteinander in Berührung kommen **(Kurzschluß)**; in diesem Falle ist nämlich der Widerstand zwischen beiden Polaritäten äußerst gering, die Stromstärke kann demnach außerordentlich große Werte annehmen, deren schädliche Folgen durch das Abschmelzen der Sicherungen verhindert wird.


K 1031
Abb. 36.
Dosenschalter.


K
Abb. 37.
Steckdose.

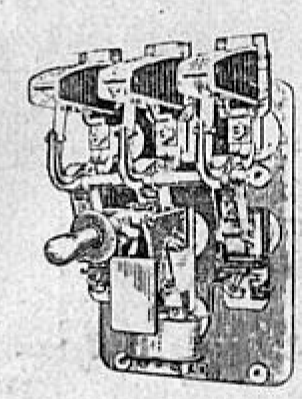

K 1033
Abb. 38.
Stecker.

Jede elektrische Maschine und Akkumulatorenbatterie wird daher außer mit Schalthebeln auch mit Sicherungen versehen. In neuerer Zeit vereinigt man beides in **selbsttätigen Ueberstromausschaltern** (Maximalausschalter) (Abb. 39 und 40); sie können von Hand aus- und eingeschaltet werden, besitzen jedoch außerdem einen Elektromagneten, welcher bei unzulässig hohem Strom einen Anker anzieht, der seinerseits das Ausschalten des Hebels veranlaßt. Damit dieses Ausschalten nicht bei vorübergehenden Ueberschreitungen der Stromstärke erfolgt, die der Maschine nichts schaden, kann man **Ueberstromausschalter** mit **Zeitrelais** (Abb. 41) verwenden, so daß die Ausschaltung nur eintritt, wenn der unzulässig starke Strom eine gewisse Zeit lang (2 bis 20 Sekunden) anhält. Während die Ueberstromausschalter nach Abbildung 39 und 40 zur selbsttätigen Unterbrechung mittlerer und großer Ströme dienen, werden für kleinere Stromstärken **Kleinautomaten** (Abb. 42) und zum Einschrauben in Stöpselsicherungen solche in Stöpselform **(Elfa-Automaten)** (Abb. 43) verwendet.


Abb. 39. K 1034
Selbsttätiger Ueberstromausschalter für Gleichstrom.

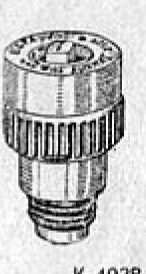
Ebenfalls mit Auslösemagneten arbeiten **Rückstromausschalter** (Rückstromautomaten) (Abb. 44), welche in Anlagen mit mehreren Stromquellen (insbesondere also bei Anlagen mit Akkumulatoren) zur Verwendung kommen. Arbeitet z. B. ein Gleichstromgenerator parallel mit einer Akkumulatorenbatterie, so könnte, wenn die Spannung des Generators etwa infolge Versagens der Antriebsmaschine sinkt, der Strom rückwärts, also aus den Akkumulatoren in den Generator fließen. In diesem Falle würde der Rückstromausschalter sofort den Strom unterbrechen.


K 1036
Abb. 41.
Zeitrelais.

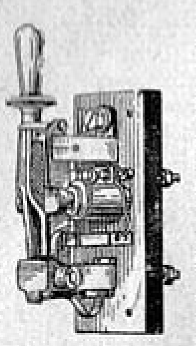

Abb. 40. K 1035
Selbsttätiger Ueberstromausschalter für Drehstrom.

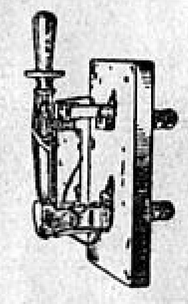


K 1037
Abb. 42.
Kleinautomat.

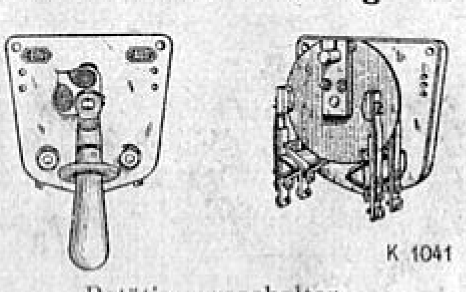

K 1038
Abb. 43.
Elfa-Automat.

Zum gleichen Zweck werden vielfach selbsttätige **Minimalstromausschalter** (Nullautomaten) (Abb. 45) verwendet, welche bereits ausschalten, bevor es zu einem Rückstrom kommt, wenn also der Strom einen sehr geringen Wert angenommen hat. Elektromagnetisch betätigte Hebelschalter lassen sich so einrichten, daß nicht nur die Ausschaltung, sondern auch die Einschaltung magnetisch erfolgt. Diese Konstruktion wird zur **Fernschaltung** verwendet, indem man Druckknöpfe durch wenige dünne Drähte mit dem Elektromagneten der Schalter verbindet. Dadurch, daß man in den Druckknöpfen den geringen Strom für die Elektromagnete in dem einen oder anderen Sinne einschaltet, erfolgt dann die Ein- oder Ausschaltung des Hebelschalters. Statt der Druckknöpfe kann man besondere **Betätigungsschalter** (Abb. 46 u. 47) verwenden. Eine besondere Form von magnetischen Schaltern sind die **Schütze** (Abb. 48), welche nicht von Hand, sondern nur durch den an anderen Stellen geschlossenen oder geöffneten Magnetstromkreis betätigt werden können. Sie werden in der Hauptsache bei der Schaltung von Motoren durch Schaltwalzenanlasser, Aufzugsteuerungen und dergl. verwendet und können gleichzeitig als Ueberstromausschalter wie zum Ausschalten bei Ausbleiben der Spannung (Nullspannungsauslösung) ausgebildet werden.


K 1039
Abb. 44.
Rückstromausschalter.


K 1040
Abb. 45.
Minimalstromausschalter.

Zu den häufigsten Schaltungen, welche mit Hilfe von Schaltapparaten ermöglicht werden, gehören **Hintereinanderschaltung** und **Parallelschaltung.** Beide finden ganz allgemein für alle elektrischen Apparate und Leitungen Anwendung; der Einfachheit wegen sei ihr Wesen hier an Gleichstromgeneratoren erklärt. Die **Hintereinanderschaltung** besteht darin, daß ein Pol einer Maschine mit dem entgegengesetzten Pol einer zweiten Maschine verbunden wird, der zweite Pol dieser Maschine wieder mit dem entgegengesetzten einer dritten verbunden wird usw. In dieser Schaltung (Abb. 49) addieren sich die Spannungen der Maschinen, so daß die Gesamtspannung gleich der Summe der Einzelspannungen ist. Derart hintereinandergeschaltete Maschinen durchläuft natürlich im ganzen Stromkreis die gleiche Stromstärke. Diese Schaltung findet bei Generatoren verhältnismäßig selten Anwendung, in der Regel nur bei Zusatzmaschinen. Sie ist dagegen stets bei Akkumulatorenelementen anzutreffen. Die **Parallelschaltung** findet sich fast in jeder Stromerzeugungsanlage, da man häufig aus Sicherheitsgründen die gesamte Leistung auf zwei oder mehr Generatoren oder einen Generator mit Batterie verteilt. Die Parallel-


K 1041
Betätigungsschalter.
Abb. 46. Vorderseite.
Abb. 47. Rückseite.

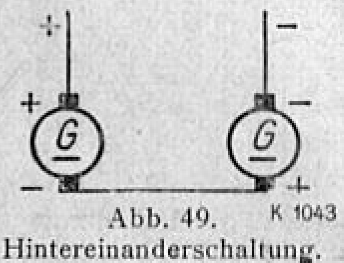
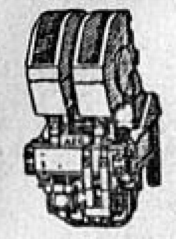


Abb. 49. K 1043
Hintereinanderschaltung.


K 1042
Abb. 48. Schütz (Schutzkappe abgenommen).

schaltung besteht darin, daß alle gleichnamigen Pole mehrerer Stromquellen miteinander verbunden werden (Abb. 50). Hierbei addieren sich die Stromstärken, so daß die gesamte Stromstärke gleich der Summe der Einzelstromstärken ist. Die Spannung von parallelgeschalteten Stromquellen muß dagegen gleich sein.

Um zwei Gleichstrommaschinen (oder einen Generator und eine Batterie) parallel zu schalten, ist nichts weiter nötig, als vor dem Zusammenschalten durch Verstellung der Nebenschlußregler beide Maschinen auf gleiche Spannung zu bringen. Bei Drehstrom dagegen ist die Parallelschaltung weit weniger einfach. Die beiden Maschinen müssen außer der gleichen Spannung genau gleiche Frequenz zeigen und müssen im Augenblick des Zusammenschaltens auch **Phasengleichheit** aufweisen, d. h. die Wellen der Spannungen beider Maschinen müssen genau gleichzeitig ihren gleichnamigen maximalen Wert und ihren Nullwert erreichen. Von diesen drei für die Parallelschaltung erforderlichen Bedingungen wird die Spannungsgleichheit ebenfalls durch den Magnet- und Nebenschlußregler hergestellt. Die Frequenz ist allein abhängig von der Drehzahl der Generatoren und kann daher nur durch Veränderung der Geschwindigkeit der Antriebsmaschine eingestellt und an einem **Frequenzmesser** abgelesen werden. Zur Feststellung der Phasengleichheit benutzt man **Phasenvergleicher (Phasenlampen, Phasenvoltmeter)** (Abb. 51). Diese ermöglichen eine Beobachtung der Differenz der beiden in ihren Phasen zu vergleichenden Spannungen. In ähnlicher Weise dienen Phasenvoltmeter zur gleichen Beobachtung, indem ihre Zeiger bei Phasenungleichheit hin- und herpendeln, bei Phasengleichheit dagegen zur Ruhe kommen. Zur Veränderung der Geschwindigkeit, und damit zur Einstellung der Frequenz und der Phasengleichheit mehrerer Drehstromgeneratoren muß jede Antriebsmaschine eine Drehzahlverstellvorrichtung besitzen.

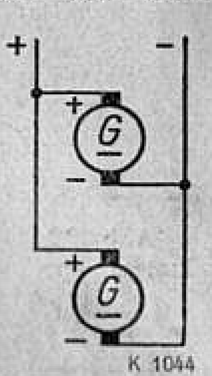


Abb. 50. Parallelschaltung.

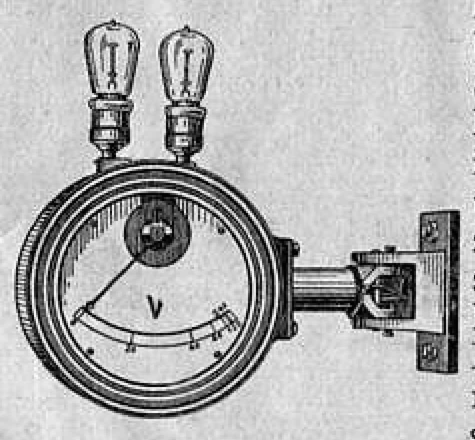


Abb. 51. Phasenvoltmeter mit Phasenlampen.

Damit der elektrische Strom nicht von dem stromführenden Leiter auf die Umgebung, z. B. auf andere Leiter übertritt, muß dieser elektrisch **isoliert** sein. Zu diesem Zweck werden die Leitungen mit isolierenden Stoffen umgeben oder von isolierenden Körpern getragen. Um festzustellen, ob die **Isolation** eines Leiters in Ordnung ist, muß man den Widerstand messen, welchen die isolierenden Körper der unbeabsichtigten Ableitung des Stromes entgegensetzen **(Isolationswiderstand).** Man unterscheidet den Isolationswiderstand zwischen den Leitern verschiedener Polarität und den Isolationswiderstand aller Leiter gegen die Erde (oder mit dieser in leitender Berührung stehender Körper). Wenn der Isolationswiderstand der Leitungen gegeneinander sehr klein wird, so entsteht Kurzschluß; wenn der Isolationswiderstand gegen Erde sehr gering wird, so spricht man von **„Erdschluß"**. Zur Messung von Isolationswiderständen benutzt man **Isolationsprüfer (Isolationsmesser, Erdschlußprüfer)** (Abb. 52 und 53), welche in der Regel darauf

beruhen, daß die Spannung der Leiter gegen ihre Umgebung oder gegen Erde gemessen wird.

Alle für eine elektrische Stromerzeugungsanlage notwendigen Meßinstrumente, Schalt- und Sicherungsapparate, Regler, Zellenschalter, Phasenvergleicher, Isolationsmesser usw., werden in der Regel auf **Schalttafeln (Schaltbrettern, Schaltwänden)** (Abb. 54) vereinigt. Sie bestehen meist aus Marmortafeln, welche die Apparate und ihre Verbindungen tragen.

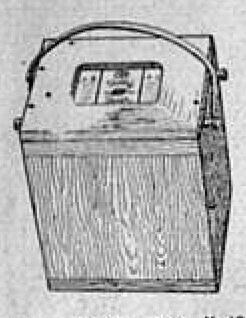
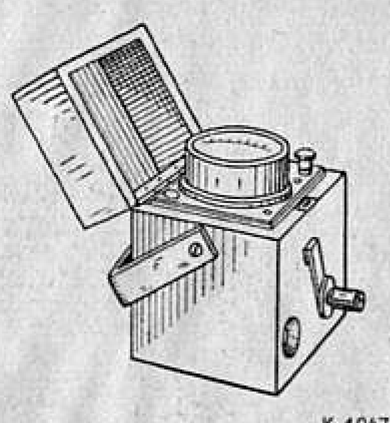


Abb. 52. K 1046
Isolationsprüfer.



K 1047
Abb. 53. Isolationsmesser mit Kurbelinduktor.

Um Gleichstrom in Wechselstrom oder Drehstrom umzuwandeln (oder umgekehrt), muß man einen Elektromotor mit der vorhandenen Stromart speisen und von ihm einen Generator für den zu erzeugenden Strom antreiben lassen. Die beiden Maschinen werden meist direkt gekuppelt. Derartige **Umformer** zur Umwandlung einer Stromart in eine andere heißen **Motorgeneratoren** (Abb. 55). Während bei Motorgeneratoren zwei vollkommen getrennte Maschinen zur Verwendung kommen, welche jede ihre eigenen Feldmagnete besitzt, kann man die Anordnung auch so treffen, daß nur ein System von Feldmagneten benutzt wird, und der in diesem laufende Anker für beide Stromarten dient **(Einankerumformer)** (Abb. 56). Die Spannungen, unter denen der Strom einem Einankerumformer zugeführt und von ihm abgenommen wird, stehen in einem bestimmten Verhältnis zueinander, und zwar verhalten sich die Spannungen von Gleichstrom zu Drehstrom etwa wie 1 : 0,65 (bis 0,69). Da dies Verhältnis in der Regel nicht ohne weiteres vorhanden ist, muß auf der Drehstromseite ein Transformator eingeschaltet werden. Soll die erzeugte Spannung in weiten Grenzen

Abb. 54. K 1048
Freistehende Schalttafel.

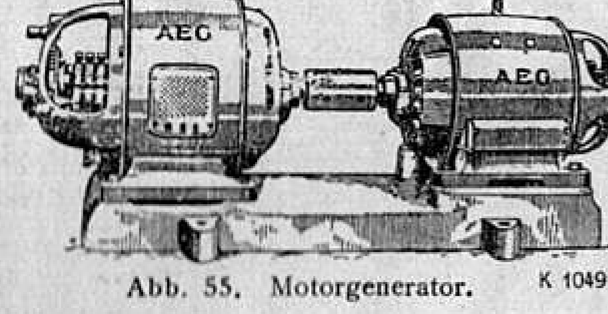


Abb. 55. Motorgenerator. K 1049

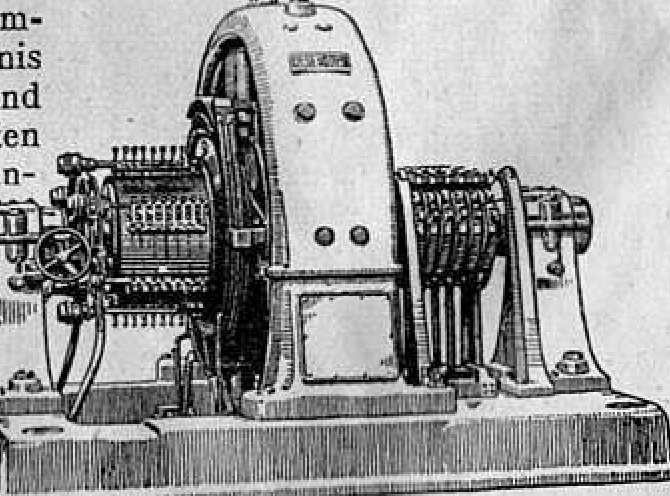
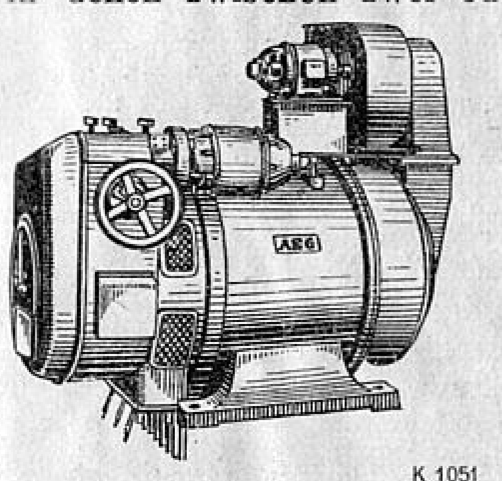


Abb. 56. Einankerumformer. K 1050

verändert werden, so ist außerdem ein **Drehtransformator (Potentialregler)** (Abb. 57) erforderlich, welcher die Drehstromspannung in beliebig feinen Stufen zu regeln erlaubt. Für den besonderen Zweck der Umwandlung von Wechsel- oder Drehstrom in Gleichstrom gibt es außerdem Quecksilberdampf-**Gleichrichter** (Abb. 58); sie enthalten bei kleineren Leistungen luftleere Glasbehälter, bei größeren Eisenbehälter, in denen zwischen zwei oder drei Stromzuführungen (Elektroden) ein Quecksilberlichtbogen hergestellt wird, welcher von dem zugeführten Wechselstrom immer nur die in gleicher Richtung fließende halbe Periode durchläßt, die andere Hälfte der Periode aber nicht durchläßt. Sie bedürfen keiner dauernden Bedienung und haben keine beweglichen Teile.



K 1051
Abb. 57. Drehtransformator.

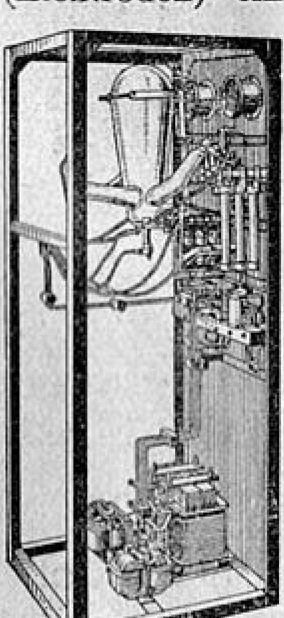
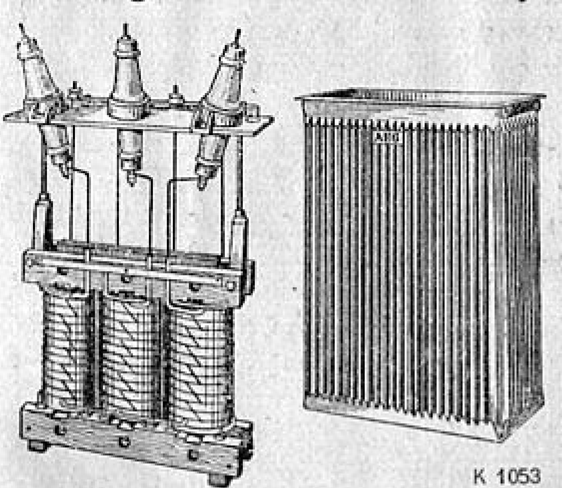
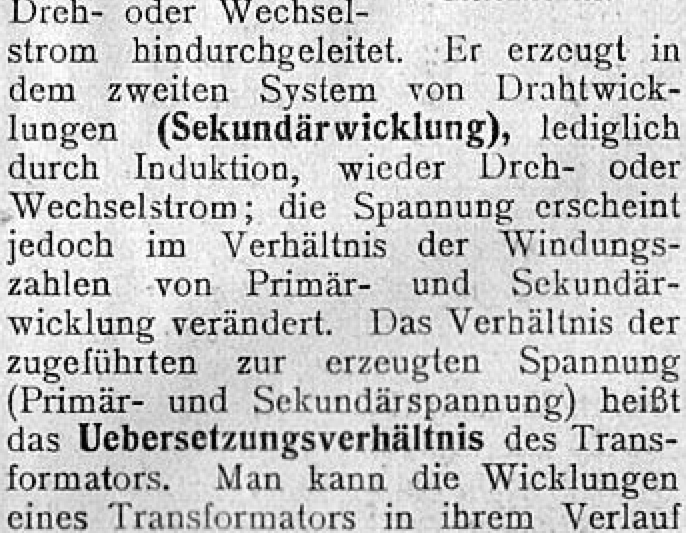


Abb. 58. K 1052
Quecksilberdampf-Gleichrichter.

Zur Umwandlung von Dreh- oder Wechselstrom einer Spannung in eine andere verwendet man ruhende Apparate. Derartige **Transformatoren** (Abb. 59) besitzen zwei auf Eisenkerne aufgezogene Systeme von Drahtwicklungen. Durch das eine System **(Primärwicklung)** wird der zugeführte Dreh- oder Wechselstrom hindurchgeleitet. Er erzeugt in dem zweiten System von Drahtwicklungen **(Sekundärwicklung),** lediglich durch Induktion, wieder Dreh- oder Wechselstrom; die Spannung erscheint jedoch im Verhältnis der Windungszahlen von Primär- und Sekundärwicklung verändert. Das Verhältnis der zugeführten zur erzeugten Spannung (Primär- und Sekundärspannung) heißt das **Uebersetzungsverhältnis** des Transformators. Man kann die Wicklungen eines Transformators in ihrem Verlauf mit **Anzapfungen** versehen, so daß man außer der Spannung an den Enden der Wicklungen auch beliebige Teilspannungen abnehmen kann. Während für ganz kleine Leistungen und niedrigere Spannungen die Transformatoren offen montiert werden, stellt man dieselben für alle größeren Leistungen und höhere Spannungen in einen mit Oel gefüllten Kasten.

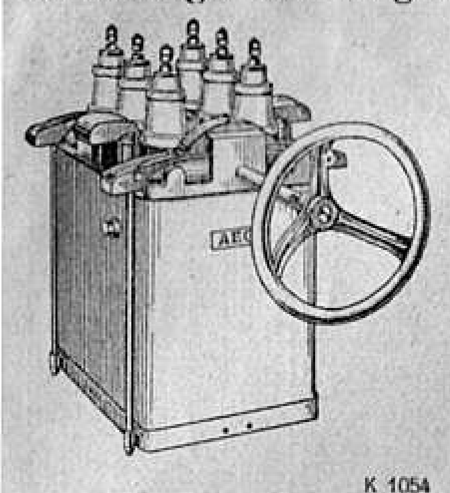




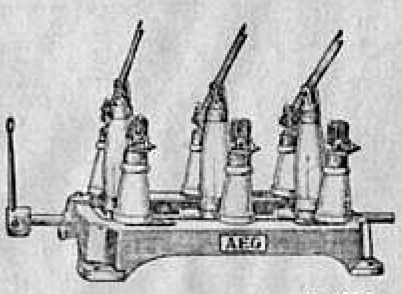
K 1053
Abb. 59. Drehstromtransformator aus dem Oelkasten herausgenommen.

Die Stärke eines Drahtes zur Fortleitung elektrischen Stromes richtet sich in erster Linie nach der Stromstärke, welche er führen soll. Die Leistung in Watt, welche er überträgt, ist also um so größer, je höher die Spannung des betreffenden Stromes ist. Um daher mit möglichst dünnem Draht möglichst große Leistungen zu übertragen, muß man die Spannung möglichst hoch wählen. Da dies bei Dreh- und Wechselstrom mit Hilfe von Transformatoren sehr viel leichter mög-

lich ist als bei Gleichstrom, so wird für die Uebertragung auf große Entfernungen und für große Leistungen ausschließlich Dreh- und Wechselstrom verwendet. Die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker teilen die Spannungen der Größe nach in **Niederspannung** und **Hochspannung.** Erstere umfaßt alle Spannungen bis zu 250 Volt (Ausnahme siehe Gleichstrom-Dreileiter- u. Drehstrom-Vierleitersystem). Alle Spannungen über 250 Volt gelten als Hochspannung und werden heute bereits bis zu 200000 Volt praktisch verwendet. Um Ströme von mehr als 1000 Volt zu schalten, bedarf es besonderer Schalter, bei welchen die Stromunterbrechung unter Oel erfolgt **(Oelschalter)** (Abb. 60). Diese können ebenso wie offene Hebelschalter mit Ueberstromauslösung, Rückstromauslösung und Fernbetätigung versehen werden. Da alle Hochspannungsströme lebensgefährlich sind und man an den verschlossenen Oelschaltern die Unterbrechung nicht unmittelbar beobachten kann, ordnet man zur Vornahme von Arbeiten am ausgeschalteten Teil vor jedem Oelschalter einen offenen **Trennschalter** (Abb. 61) an, der eine sichtbare Trennstelle bildet, die aber nicht zur Stromunterbrechung geeignet ist, sondern erst betätigt werden darf, wenn der Oelschalter den Strom unterbrochen hat.

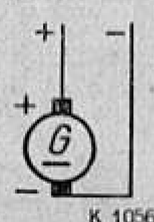


K 1054
Abb. 60. Oelschalter.

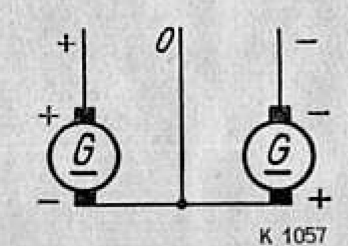


K 1055
Abb. 61. Trennschalter.

Bei Gleichstrom gebraucht man im allgemeinen zwei Drähte zur Hin- und Rückleitung des Stromes **(Zweileitersystem),** von denen die eine an den positiven, die andere an den negativen Pol angeschlossen wird (Abb. 62).



K 1056
Abb. 62. Zweileitersystem.



K 1057
Abb. 63. Dreileitersystem.

Um zwecks Ersparnis an Leitungsmaterial höhere Spannungen verwenden zu können, ohne aber die Gebrauchsspannung für Lampen und Kleinmotoren erhöhen zu müssen, kann man zwei Zweileitersysteme hintereinander schalten und einen dritten Leiter **(Mittelleiter, Nulleiter)** von der Verbindungsstelle abführen **(Dreileitersystem)** (Abb. 63). Der Nulleiter von Dreileitersystemen muß mit der Erde verbunden **(geerdet)** werden. Dreileitersysteme, deren Spannung zwischen den Außenleitern zwar über 250 Volt liegt, bei welchen jedoch die Spannung zwischen einem Außenleiter und dem geerdeten Nulleiter unterhalb von 250 Volt liegt, gelten nach Verbandsvorschriften als Niederspannungsanlagen. Die Speisung von Dreileiteranlagen wurde ursprünglich dadurch vorgenommen, daß man zwei Generatoren hintereinander schaltete und von der Verbindungsleitung zwischen beiden Maschinen den Nulleiter abzweigte. Der **Spannungsteiler** (Abb. 64) der AEG ermöglicht jedoch die Verwendung nur eines Generators für die gesamte Spannung (Außenleiterspannung), während der

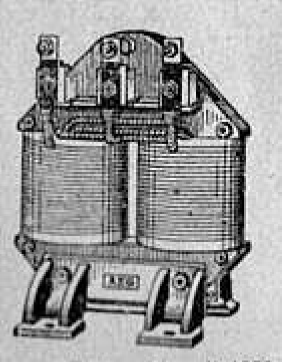


Abb. 64. K 1058
Spannungsteiler.

Nulleiter in den Spannungsteiler geführt wird. Dieser ist ein ruhender Apparat nach Art der Transformatoren und ist außer mit dem Nulleiter durch zwei Schleifringe auf der Welle des Generators mit der Ankerwicklung verbunden (Abb. 65).

Bei Drehstrom benötigt man 3 Leitungen, zwischen denen die Hauptspannung herrscht und an welche Drehstrommotoren mit allen 3 Leitungen angeschlossen werden. Um eine etwas höhere Spannung und damit schwächere Leitungen verwenden zu können, ohne die Spannung für die Lampen zu erhöhen, ordnet man ebenfalls einen Nulleiter an, welcher an den Sternpunkt (Nullpunkt) des Drehstromgenerators oder Transformators angeschlossen wird. Dieser Nulleiter des **Drehstrom-Vierleitersystems** wird ebenfalls geerdet und alle Lampen mit einem Draht an ihn, mit dem anderen Draht an eine der 3 Hauptleitungen (Phasenleitungen, Phasen) angeschlossen. Hat man nur wenige Lampen anzuschließen, so genügt häufig die Zuführung einer oder zweier Phasenleitungen und des Nulleiters. Die Gebrauchsspannung der Motoren ist hier 1,73 mal so groß wie die der Lampen, z. B. 380 Volt gegenüber 220 Volt für die Lampen.

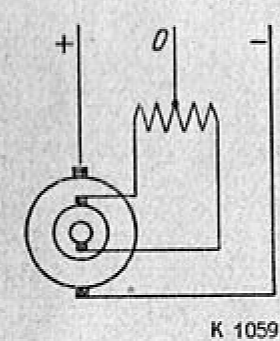


Abb. 65.
Dreileiterdynamo.

Die Fortleitung des elektrischen Stromes erfolgt im allgemeinen durch **Kupferleitungen,** da dieses Material, abgesehen von den Edelmetallen, dem Stromdurchgang den geringsten Widerstand entgegensetzt, also die größte **Leitfähigkeit** besitzt. Da jedoch auch Kupfer noch einen nennenswerten Widerstand hat, wird bei der Fortleitung stets ein Teil der Leistung vernichtet **(Leistungsverlust).** Die Benennung der Leitungsstärken erfolgt mit Rücksicht auf die vielfach verwendeten Seile und Profildrähte nach der Größe der Kupferquerschnitte. Die Auswahl der Leitungsquerschnitte hat nach drei Gesichtspunkten zu erfolgen:

1. Mit Rücksicht auf die mechanische Festigkeit des Kupferdrahtes.
2. Mit Rücksicht auf die Erwärmung des Kupferdrahtes durch den Strom.
3. Mit Rücksicht auf den Spannungsabfall und Leistungsverlust.

Bei ausgedehnteren Netzen, insbesondere bei Leitungsnetzen in den Städten, würde der übliche Spannungsabfall von einigen Prozent außerordentlich große Querschnitte der Leitungen bedingen. Man ordnet hier daher besondere **Speisepunkte** an, welche durch unverzweigte, unmittelbar von der Zentralstation ausgehende **Speiseleitungen** ihren Strom erhalten. Diese Speiseleitungen bemißt man dann für einen Spannungsabfall bis zu 10% der Betriebsspannung und sorgt dafür, daß die Spannung an den Enden der Speiseleitungen, den Speisepunkten, also nicht in der Zentrale, konstant gehalten wird. Auf diese Weise kann dann an den von Speisepunkten ausgehenden **Verteilungsleitungen** ein weiterer Spannungsabfall von etwa 3% zugelassen werden. Um die Spannung an den Speisepunkten konstant halten zu können, muß man sie in der **Zentralstation (Kraftwerk)** beobachten. Zu diesem Zweck werden besondere dünne Leitungen **(Meßleitungen** oder **Prüfdrähte)** von allen Speisepunkten nach der Zentralstation zurückgeführt.

Nach der Art der Ausführung unterscheiden die Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker folgende **Leitungsarten,** für deren Aufbau im Einzelnen bestimmte Vorschriften gelten.

Blanke Leitungen.

Umhüllte Leitungen für geerdete oder Nulleitungen. Bezeichnung NL.
Wie vor mit wetterfester Imprägnierung. Bezeichnung LWC.
Mit wetterfest imprägnierter Papier- und Baumwollisolierung. Bezeichnung PLWC.

Isolierte Leitungen (Gummiisolation), und zwar:

I. Leitungen für feste Verlegung:

Gummiaderleitungen (für Niederspannungsanlagen)
Mit Normalgummi isoliert, für Spannungen bis 750 Volt. Bezeichnung NGA.
Wie vor mit wetterfester und säurebeständiger Imprägnierung. Bezeichnung NGAW.

Rohrdrähte, für Niederspannungsanlagen, zur erkennbaren Verlegung, welche es ermöglicht, den Leitungsverlauf ohne Aufreißen der Wände zu verfolgen. Bezeichnung NRA mit verbleitem Eisenmantel, NRAM mit Messingmantel.

Panzeradern, mit einer Beflechtung aus verzinkten Eisendrähten, nur zur festen Verlegung für Spannungen bis 1000 Volt. Bezeichnung NPA.

Bandpanzerleitungen, mit einem Panzer aus zwei in der Längsrichtung gewölbten Eisenbändern, für Spannungen bis 750 Volt. Bezeichnung BPA.

II. Leitungen für Beleuchtungskörper:

Fassungsadern, zur Installation nur in und an Beleuchtungskörpern in Niederspannungsanlagen. Bezeichnung NFA.

Pendelschnüre, zur Installation von Schnurzugpendeln in Niederspannungsanlagen. Bezeichnung NPL.

III. Leitungen zum Anschluß ortsveränderlicher Stromverbraucher:

Gummiaderschnüre (Zimmerschnüre), für geringe mechanische Beanspruchung in trockenen Wohnräumen in Niederspannungsanlagen. Bezeichnung NSA.

Gummischlauchleitungen.
Leichte Ausführung mit Gummimantel und äußerer Glanzgarnbeflechtung, für Niederspannung, Bezeichnung NLHG, für Tischlampen, Heiz- und Kochgeräte.
Mittlere Ausführung mit Gummimantel ohne Glanzgarnbeflechtung, für Niederspannung, Bezeichnung NMH, für Handlampen und dergl.
Starke Ausführung mit zweifachem Gummimantel, für Spannungen bis 750 Volt, Bezeichnung NSH, für Werkstätten und dergl.

Hanfkordelleitungen, mit äußerer Beflechtung aus geteerter Hanfkordel, für Niederspannungsanlagen.
Leichte Ausführung, für Handlampen und dergl., Bezeichnung NHK.
Mittlere Ausführung, für Werkstätten und dergl., Bezeichnung NWK.
Starke Ausführung mit Erdungsbeflechtung, für rauhe Betriebe in Industrie und Landwirtschaft, Bezeichnung NSGCK.

IV. Bleikabel:

Gummi-Bleikabel, ein- oder mehradrig.

Papier-Bleikabel, ein- oder mehradrig, letztere mit runden, sektorförmigen oder konzentrischen Leitern.

Von den isolierten Leitungen für feste Verlegung werden Rohrdrähte, Panzeradern und Bandpanzerleitungen ohne weiteres auf Wänden und anderen Gebäudeteilen verlegt. Gummiader- und Nulleitungen dagegen können **offen verlegt** werden, d. h. auf **Porzellanrollen** (Abb. 66) in kleinen Abständen oder auf **Porzellanglocken** (Abb. 67) in größeren Abständen, an welche jeder Draht mit Bindedraht oder anderen geeigneten Mitteln angebunden wird. **Porzellanklemmen** (Abb. 68) entsprechen den Porzellanrollen, ersparen aber die Bindestelle. Oder die Leitungen werden in Rohr verlegt, und zwar in **Gummiinstallationsrohr** nur in der Wand **(unter Putz)** oder in **Isolierrohr (Papierrohr)** sowohl unter Putz als auch auf Putz (auf der Wand). Das Papierrohr besitzt einen **Metallmantel** aus **Messing** oder **verbleitem Eisen** (Falzrohr) und wird aus einzelnen Stücken zusammengesteckt oder es hat einen starken Eisenmantel **(Stahlpanzerrohr),** welcher Gewinde nach Art der Gasrohre besitzt und mit Muffen zusammengeschraubt wird, so daß das Rohr ein wasser- und gasdichtes Ganzes bildet.



K 1060
Abb. 66. Porzellanrolle.

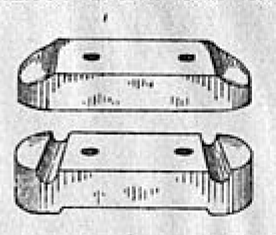
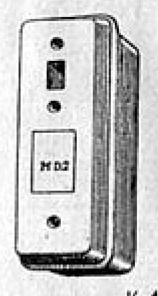


Abb. 68. K 1062
Porzellanklemme.



K 1061
Abb 67. Porzellanglocke.

Um die mit längeren Freileitungen in Verbindung stehenden Installationen gegen Beschädigungen durch atmosphärische Entladungen (Gewitter) zu schützen, ist es notwendig, den örtlichen Verhältnissen entsprechend, **Blitzschutzvorrichtungen** (Abb. 69) anzuordnen. Im allgemeinen bestehen diese aus einer Funkenstrecke, d. h. von dem stromführenden Draht wird ein Abzweig zu einem Metallkörper geführt, welchem in geringem Abstand ein zweiter ähnlicher Metallkörper gegenübersteht, der seinerseits mit der Erde leitend verbunden ist. Wird durch die Einwirkung der Luftelektrizität die Spannung stark erhöht, so springt ein Funken über den kleinen Luftzwischenraum über, so daß eine Ableitung zur Erde eintritt. Für Spannungen bis 2000 Volt Gleichstrom und 500 Volt Wechselstrom genügen Blitzableiter, welche in einem viereckigen Porzellankasten die Funkenstrecke und einen in die Erdleitung eingeschalteten Widerstand enthalten. Der Widerstand ist notwendig, damit bei gleichzeitigem Funktionieren der Blitzableiter an verschiedenen Polen kein voller Kurzschluß eintritt. Für höhere Spannungen werden **Hörnerblitzableiter** (Abb. 70) verwandt, bei denen eine Funkenstrecke zwischen zwei hörnerartigen Kupferdrähten gebildet wird. Als Dämpfungswiderstände dienen bei diesen gesondert aufgestellte Metall- oder Karbolisitwiderstände.



K 1063
Abb. 69. Blitzschutzvorrichtung.

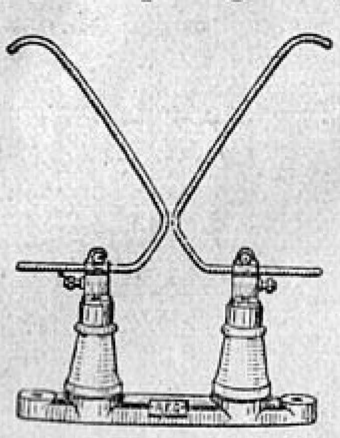
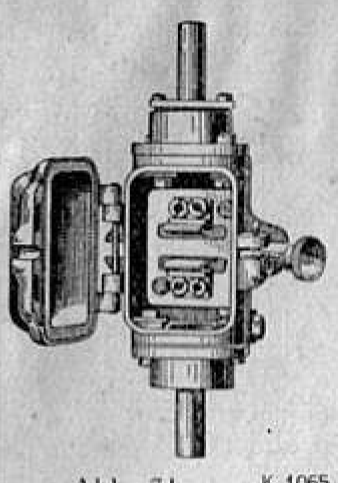


Abb. 70. K 1064
Hörnerblitzableiter.

Bei Wechsel- und Drehstromanlagen, insbesondere bei Hochspannung, können Spannungserhöhungen auftreten, auch ohne daß eine atmosphärische Entladung die Ursache ist. Um derartige Ueberspannungen, welche am Ende einer Leitung unter Umständen ein Mehrfaches der Betriebsspannung betragen können, unschädlich zu machen, werden an solchen


Abb. 71. K 1065
Durchschlagsicherung.

Punkten **Ueberspannungssicherungen** eingebaut, welche im Prinzip den Blitzschutzvorrichtungen entsprechen und im wesentlichen aus einer Funkenstrecke bestehen. Eine besondere Art sind die **Durchschlagsicherungen** (Abb. 71), welche auf der Unterspannungsseite von Transformatoren angebracht und an dem Nullpunkt angeschlossen werden, um den Strom zur Erde abzuleiten, wenn Hochspannungsstrom in die Unterspannungswicklung geraten sollte. Solche Durchschlagssicherungen sind einfache Porzellansicherungen mit einem Schraubstöpsel, welcher eine kleine Funkenstrecke bildet.

Ebenso wie die Generatoren müssen auch alle Leitungen je nach ihrem Querschnitt mit **Sicherungen** versehen werden. Man unterscheidet offene Sicherungen **(Streifensicherungen)** (Abb. 72) und geschlossene Sicherungen **(Stöpselsicherungen)** (Abb. 73). Die offenen Sicherungen besitzen als **Schmelzeinsätze** (Abb. 74) einen einzelnen oder eine Anzahl parallel geschalteter Schmelzdrähte mit entsprechenden Kontaktstücken. Bei den geschlossenen Sicherungen sind die Schmelzdrähte von einem Porzellankörper umgeben, welcher vollkommen geschlossen ist und ein Füllmaterial enthält, welches beim Abschmelzen die Unterbrechung des Stromlaufes unterstützt. **(Stöpsel, Patronen)** (Abb. 75.) **Sparpatronen** (Abb. 76) zeichnen sich durch ihren geringen Umfang, geringes Gewicht und besonders niedrigen Preis aus, verlangen aber zum Einsetzen in die Sicherung außer der Schraubkappe noch eine Schraubhülse. Sicherungen mit eingeschlossenen Schmelzeinsätzen für Stromstärken bis 60 Amp. sollen den in den Normalien des Verbandes Deutscher Elektrotechniker ausführlich festgelegten Bestimmungen genügen. Da dies eine genaue Kenntnis der verschiedenen Einflüsse und der Art der Herstellung bedingt, ist dringend davon abzuraten, Stöpselsicherungen selbst mit neuen Schmelzdrähten zu versehen, wenn diese durchgebrannt sind. Nur bei Ausführung von Stöpselreparaturen in der Fabrik des Herstellers ist eine genügende Sicherheit für die Einhaltung der Vorschriften und für gutes Funktionieren gegeben. Geschlossene Schmelzeinsätze sollen unverwechselbar sein, so daß nicht irrtümlich zu starke Sicherungen eingesetzt werden können. Dies wird dadurch erreicht, daß die Füße der Stöpsel verschieden stark sind (Durchmesserunterschiede) und in die Sicherungen **Kontaktschrauben (Kontaktplatten, Paßschrauben, Fußkontakte)** (Abb. 77) eingesetzt werden, welche entsprechende Bohrungen haben. So wird also ein stärkerer Stöpsel in die Bohrung einer schwächeren Kontaktschraube nicht hineinpassen. Das früher allgemein gebräuchliche System

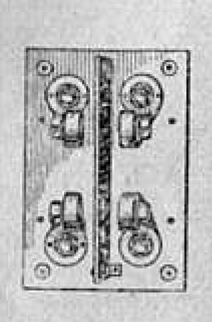
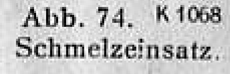
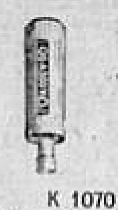

K 1066
Abb. 72. Streifensicherung.


Abb. 73. K 1067
Stöpselsicherung.


Abb. 74. K 1068
Schmelzeinsatz.



K 1069
Abb. 75. Patrone mit Schraubkappe.




K 1070
Abb. 76. Sparpatrone mit Schraubhülse und Schraubkappe.

K 1071
Abb. 77. Kontaktschraube.

mit Höhenunterschieden der Stöpsel und Kontaktschrauben soll verlassen werden.

Sicherungen sollen nach den Verbandsvorschriften möglichst zentralisiert werden. Dies geschieht zweckmäßig dadurch, daß dieselben auf **Verteilungsschalttafeln** vereinigt werden. Von derartigen Verteilungszentralen aus wird der Strom durch Verteilungsleitungen den einzelnen Stromverbrauchern zur Umwandlung in mechanische Arbeit (Elektromotor), Licht (Glühlampen) oder Wärme (Heiz- und Kochapparate) zugeführt.

Elektromotoren für Gleichstrom arbeiten umgekehrt wie Gleichstromgeneratoren, und im allgemeinen lassen sich dieselben Maschinen für beide Zwecke benutzen.

Ebenso wie bei Generatoren unterscheidet man auch bei Gleichstrom-Elektromotoren:

Nebenschlußmotoren (Abb. 9), deren Drehzahl mit zunehmender Belastung sehr wenig sinkt; sie kommen daher in den meisten Fällen zur Verwendung.

Reihenschlußmotoren (Abb. 10), deren Drehzahl bei Zunahme der Belastung sinkt. Derartige Motoren würden also bei geringer Last sehr schnell laufen; wird die Last gleich Null, so würde die Drehzahl theoretisch unendlich groß werden, d. h. der Anker würde durch die Zentrifugalkraft bei einer sehr hohen Geschwindigkeit auseinanderfliegen. Um dieses „Durchgehen" von Reihenschlußmotoren zu verhindern, muß entweder das Verschwinden der Belastung verhindert werden oder es müssen Vorkehrungen getroffen werden, welche bei allzu hoher Geschwindigkeit den Strom selbsttätig unterbrechen. Man verwendet daher Reihenschlußmotoren im wesentlichen dort, wo die Last nicht verschwinden kann (z. B. bei elektrischen Bahnen), bei denen gleichzeitig eine große Anzugskraft notwendig ist, das diese Motoren besitzen.

Doppelschlußmotoren (Abb. 11), bei denen die Abhängigkeit der Drehzahl von der Belastung zwischen derjenigen von Nebenschluß- und Reihenschlußmotoren liegt. Die Drehzahl steigt bei sinkender Belastung je nach Größe der gewählten Compoundierung. Ein Durchgehen ist nicht möglich.

Die Leistung eines Motors wurde früher nur in **Pferdestärken** (PS) gemessen. Seit einiger Zeit ist man dazu übergegangen, auch für die mechanische Leistung (wie für die elektrische) das Kilowatt zugrunde zu legen. 1 PS ist gleich 0,735 kW. Diese vom Motor abgegebene mechanische Leistung ist nicht zu verwechseln mit der aufgenommenen elektrischen Leistung, welche er erst in mechanische umwandelt.

Die aufgenommene Leistung ist um die bei der Umwandlung entstehenden Wärme- und Reibungsverluste größer. Das Verhältnis von abgegebener zu aufgenommener Leistung ist der **Wirkungsgrad** des Motors.

$$\eta \text{ (Wirkungsgrad)} = \frac{\text{abgegebene Leistung in kW}}{\text{aufgenommene Leistung in kW}}$$

Jede elektrische Maschine erhält ein **Leistungsschild** (Abb. 78), auf welchem die Leistung, der Stromverbrauch, die Betriebsspannung und die Drehzahl vermerkt sein muß.

Befindet sich der Anker eines Gleichstrom-Elektromotors in Ruhe, und schickt man durch diesen Anker einen Strom, so würde der Strom infolge des geringen Widerstandes im Anker sehr große Werte annehmen, die erst geringer werden, wenn der Anker in schnellere Bewegung gekommen ist. Um diese hohe Anlaufstromstärke zu verringern, muß

vor jeden Elektromotor während des Anlaufes ein Widerstand geschaltet werden **(Anlaßwiderstand)** (Abb. 79 und 80), welcher mit zunehmender Geschwindigkeit des Ankers allmählich ausgeschaltet wird. Da derartige **Anlasser** nur ganz kurze Zeit vom Strom durchflossen werden, sind sie auch nur so stark bemessen, daß sie sich während dieser kurzen Zeit nicht zu stark erwärmen. Es ist daher unzulässig, Anlaßwiderstände ohne weiteres für dauernden Stromdurchgang zu benutzen.

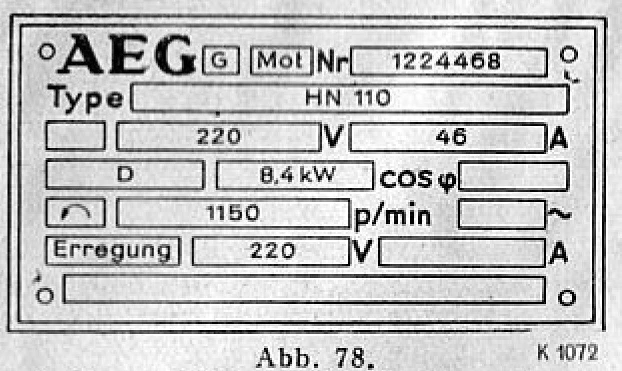


Abb. 78. K 1072
Leistungsschild eines Gleichstrommotors.

Um die Drehzahl von Nebenschlußmotoren zu verändern, gibt es zwei Wege. Man schaltet einen für dauernden Stromdurchgang bemessenen Widerstand in den Stromkreis des Ankers, so daß diesem nur eine verminderte Spannung zugeführt wird, welche einen langsameren Lauf zur Folge hat. Diese **Hauptstrom- oder Ankerregelung**, die also nur zur Herabsetzung der Drehzahl benutzt werden kann, ist wenig ökonomisch, da die Leistung des Motors entsprechend herabgesetzt wird und nennenswerte Energiemengen im Widerstand vernichtet werden müssen. Es sei hierbei darauf hingewiesen, daß derartige Widerstände nur dann die verlangte Drehzahlverminderung herbeiführen, wenn sie vom vollen Ankerstrom durchflossen werden, d. h. wenn der Motor voll belastet ist. Bei geringerer Belastung ist auch die Drehzahlverminderung geringer.

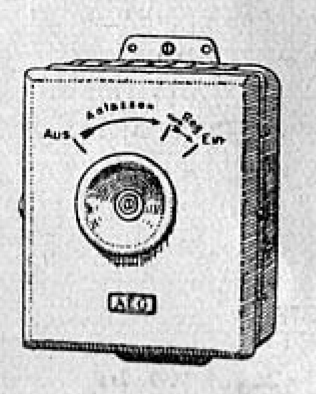


Abb. 79. K 1073
Kleiner Anlasser mit Drehzahlregelung (hängend).

Abb. 80. K 1074
Größerer Anlasser (stehend).

Der zweite Weg der Drehzahlregelung besteht darin, daß man einen Widerstand in den Stromkreis der Feldmagnete schaltet. Hierdurch wird die den Magneten zugeführte Stromstärke herabgesetzt, also das magnetische Feld geschwächt. Dies hat eine Erhöhung der Drehzahl zur Folge. Da der Strom in den Feldmagneten nur sehr gering ist, tritt hierbei auch nur ein geringer Energieverlust ein, ohne daß die Leistung des Motors heruntergesetzt wird. Diese **Nebenschlußregelung** zur Erhöhung der Drehzahl ist also sehr ökonomisch. Besonders geeignet sind hierfür **Motoren mit Hilfs- oder Wendepolen**, da diese selbst bei sehr stark geschwächtem magnetischen Feld noch keine Funkenbildung am Kollektor zeigen.

Bei **Drehstrom** sind im Gegensatz zu Gleichstrom die gebräuchlichen **Motoren (Asynchronmotoren)** anders geartete Maschinen als die Generatoren. Der Drehstrom wird nicht dem rotierenden Teil **(Läufer)** (Abb. 81), sondern dem feststehenden Teil **(Ständer)** (Abb. 82) zugeführt. Der Ständer besitzt drei auf den Umfang gleichmäßig verteilte Wicklungen, welche in einem

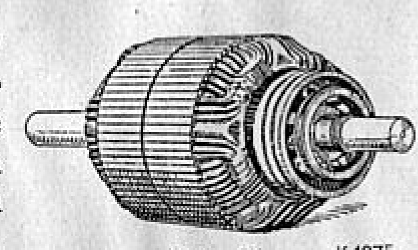
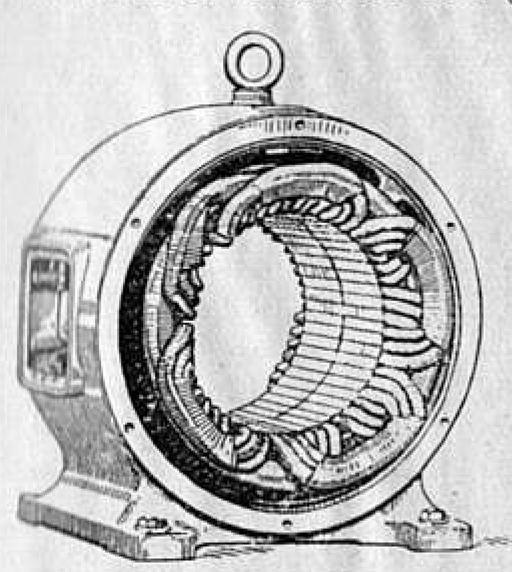


Abb. 81. K 1075
Schleifringläufer eines Drehstrommotors.

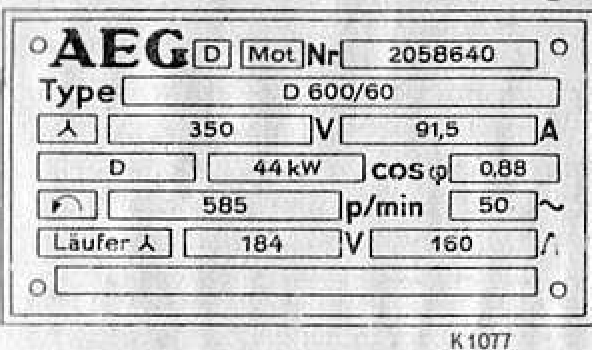
Eisenring eingebettet sind, der aus dünnen Blechen aufgeschichtet ist. Die Wicklungen können entweder in **Stern- oder in Dreieckschaltung** miteinander verbunden sein (Abb. 20 und 21), und zwar ist für denselben Motor, wenn er in Stern statt in Dreieck geschaltet ist, eine Spannung erforderlich, welche das 1,73fache derjenigen bei Dreieckschaltung ist. Hierdurch kann man einen Motor für 380 Volt Stern auch für 220 Volt Dreieck, ebenso einen Motor für 220 Volt Stern auch für 125 Volt Dreieck verwenden. Solche Motoren tragen daher vielfach die Doppelbezeichnung 380/220 Volt oder 380 Volt Y. Das Leistungsschild von Drehstrommotoren muß daher neben den für Gleichstrom erforderlichen Angaben außer der Frequenz des Drehstromes auch noch die Schaltung erkennen lassen (Abb. 83).



K 1076

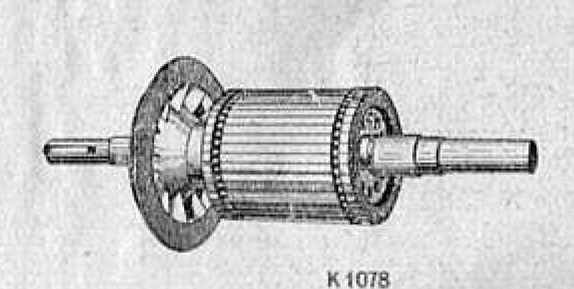
Abb. 82. Ständer eines Drehstrommotors.

In den Wicklungen des Läufers entstehen lediglich durch Induktion Ströme. Da dem Läufer also gar kein Strom zugeführt zu werden braucht, sind zunächst Bürsten und Schleifringe oder dergl. überflüssig. Den Läufer derartiger Motoren nennt man **Kurzschlußläufer**



K 1077

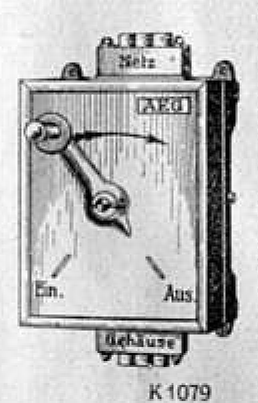
Abb. 83. Leistungsschild eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer.



K 1078

Abb. 84. Kurzschlußläufer eines Drehstrommotors.

(Abb. 84). Das Einschalten eines solchen Motors kann ganz einfach dadurch geschehen, daß man durch Einlegen eines Hebelschalters dem Ständer Drehstrom zuführt. Hierbei entsteht jedoch ein beträchtlicher Stromstoß, welcher bis zum Fünf- und Sechsfachen des normalen Stromes betragen kann. Da dies mit Rücksicht auf benachbarte Stromverbraucher wegen des auftretenden Spannungsabfalles meist nicht erwünscht ist, kann man das Einschalten des Ständerstromes bei Motoren kleinerer Leistung durch einen **Anlaßwiderstand** (Abb. 85), bei größeren Leistungen durch einen Anlaßtransformator allmählich vornehmen.



K 1079

Abb. 85. Ständer-Anlaßwiderstand.

K 1080

Abb. 86. Läuferanlasser mit Oelkühlung.

Eine weitere Methode, den Anlaufstrom bei Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer herabzusetzen, besteht in der Anwendung von **Sterndreieckschaltern.** Wenn die Wicklungen des Ständers so gebaut sind, daß sie bei ihrer Betriebsspannung im

Dreieck liegen, so kann man sie vorübergehend als Anlaßschaltung in Stern schalten, was einen langsamen Anlauf und geringen Stromstoß mit sich bringt. Hiernach sind für eine Netzspannung von 220 Volt Motoren für 380 Volt Sternschaltung geeignet, mit Sterndreieckschaltern angelassen und bei 220 Volt in Dreieckschaltung betrieben zu werden.

Will man den Anlauf noch weiter verbessern, so muß man die Drehzahl des Läufers während der Anlaufperiode herabsetzen. Dies geschieht dadurch, daß man einen Widerstand in die Wicklungen des Läufers einschaltet. Derartige Läufer erhalten drei Schleifringe, deren Bürsten durch Leitungen mit dem Widerstand verbunden sind **(Schleifringläufer)** (Abb. 81). In gleicher Weise wie bei Gleichstrommotoren werden derartige **Läuferanlasser** (Abb. 86) nur für vorübergehenden Stromdurchgang gebaut, da sie nach dem Anlauf stromlos werden. Damit die Bürsten, welche ebenfalls nur während des Anlaufes gebraucht werden, nicht unnützer Abnutzung unterworfen sind, werden Schleifringläufer mit Vorrichtungen versehen, die gleichzeitig die drei Schleifringe untereinander verbinden (Kurzschlußvorrichtung) und die Bürsten abheben. Derartige Schleifringläufer mit **Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung** (Abb. 87) heißen **Anlaßschleifringläufer.** Um die Drehzahl von Drehstrommotoren herabzusetzen, kann man lediglich Läuferanlaßwiderstände für dauernden Stromdurchgang bemessen und in die Wicklungen des Läufers eingeschaltet lassen. Dann müssen jedoch auch die Bürsten dauernd aufliegen und für dauernden Stromdurchgang bemessen sein; eine Abhebevorrichtung ist dann unnötig. Solche Läufer heißen **Regulierschleifring-Läufer.** Die Regelung, welche auf diese Weise erreicht wird, gestattet nur eine Herabsetzung der Drehzahl; eine Erhöhung der Drehzahl von Drehstrommotoren ist nicht möglich.

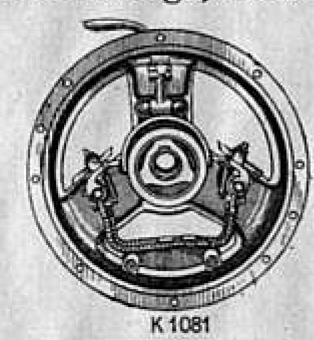


Abb. 87. Lagerschild mit Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung.

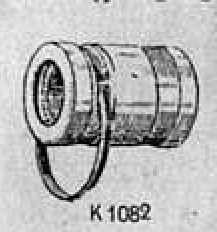


Abb. 88. Lagerbuchse m. Schmierring eines Elektromotors.

Um die Drehzahl ohne nennenswerte Verluste stark verändern zu können, baut man bei Drehstrom besondere **Drehstrom-Kollektormotoren** (Abb. 89). Diese besitzen einen Ständer nach Art gewöhnlicher Drehstrommotoren, aber einen Läufer, welcher einen Kollektor besitzt,

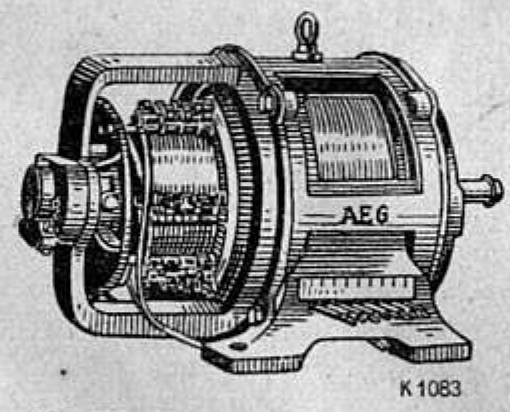


Abb. 89. Drehstrom-Kollektormotor.

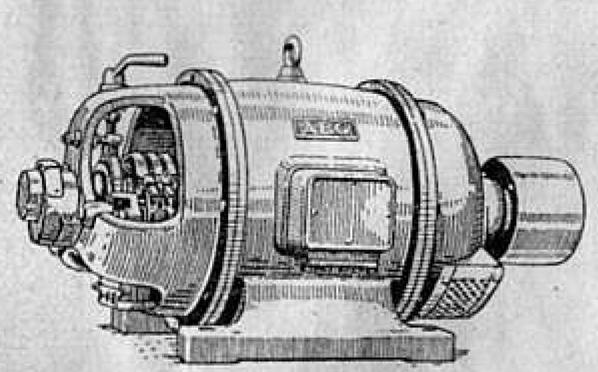
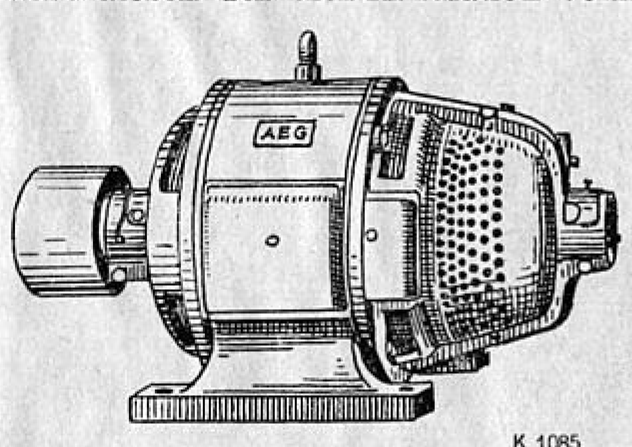


Abb. 90. Drehstrommotor in offener Ausführung.

wie er ähnlich bei Gleichstrommaschinen verwendet wird. Die Regelung erfolgt durch besondere Regelschalter oder durch die Verstellung der Bürsten.

Alle Motoren können neben der offenen Ausführung (Abb. 90), bei welcher in den Lagerschildern große Oeffnungen frei bleiben, in verschiedenen Graden **gekapselt (geschlossen)** werden. Man unterscheidet **geschützte** Motoren mit jalousieartig geschlossenen Lagerschildern, welche die Luft durchlassen, aber Tropfwasser abhalten, **geschlossene** Motoren, welche keine Kühlluft durchlassen, daher regen- und staubdicht sind, und, wenn die Lagerschilde Zirkulationsöffnungen besitzen und besondere Ventilatoren zur Luftzirkulation vorhanden sind, **ventiliert geschlossene** bzw. ventiliert geschützte Motoren. Man hat auch Ausführungen von geschlossenen Motoren, bei welchen die Luft durch Rohre zu- und abgeführt wird.



K 1085
Abb. 91. Kompensierter Drehstrommotor.

Eine weitere Art von Drehstrom-Asynchronmotoren sind die **kompensierten Drehstrommotoren** (Abb. 91). Diese unterscheiden sich von den normalen Asynchronmotoren dadurch, daß sie auf dem Läufer außer der normalen Wicklung noch eine kleine Hilfswicklung nach Art der Gleichstromwicklungen besitzen, welche mit einem Kommutator verbunden ist. Die Hilfswicklung hat den Zweck, die durch den Magnetisierungsstrom hervorgerufene Phasenverschiebung aufzuheben, so daß der Leistungsfaktor $\cos \varphi = 1$ ist. Der Drehstrom des Netzes wird über die Schleifringe dem Läufer zugeführt, während der zur Verminderung des Anlaufstromes dienende Anlasser im Ständerstromkreis liegt.

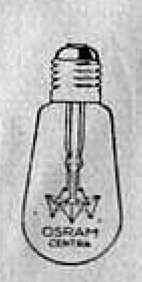
Die Verwendung des elektrischen Stromes zur **Erzeugung von Licht** erfolgt heute fast ausschließlich durch Glühlampen, in denen der Strom durch einen Leiter geschickt wird, welcher so bemessen ist, daß er stark erhitzt und weißglühend wird. Die älteren Glühlampen mit Kohlefäden **(Kohlefadenlampen)** (Abb. 92), werden wegen ihres hohen Stromverbrauches zu normalen Beleuchtungszwecken nicht mehr angewendet. Neuere Lampen haben stets als Leuchtkörper **Metalldraht,** der wieder entweder als gerader Faden auf 2 sternartigen Haltern in der Lampe ausgespannt ist **(Drahtlampen)** (Abb. 93) oder als enggewickelte Spirale nur an wenigen Punkten aufgehängt wird **(Centralampen)** (Abb. 94). Lampen mit Spiraldraht werden weiterhin zur Verminderung des Stromverbrauchs mit Gasen gefüllt. Solche **gasgefüllten Metalldrahtlampen (Nitralampen)** (Abb. 95) bieten bei der heute meist üblichen Spannung von 220 Volt nur von 60 Watt aufwärts einen wirtschaftlichen Nutzen.



K 1086
Abb. 92. Kohlefadenlampe.

K 1087
Abb. 93. Drahtlampe.

Die Lichtstärke, welche eine Lampe in einer bestimmten Richtung besitzt, wird nach **Hefner-Kerzen** (HK) gemessen. Da diese aber nicht in allen Richtungen gleich ist, gibt man für Glühlampen eine besonders ausgezeichnete, die horizontale Lichtstärke an. So werden



K 1088
Abb. 94. Centralampe.

die Kohlefaden- und luftleeren Metalldrahtlampen nach ihrer Lichtstärke in horizontaler Richtung bezeichnet; die normalen Ausführungen sind Lampen von 5, 10, 16, 25, 32 und 50 HK_h. Bei den gasgefüllten Lampen dagegen wählt man zur Kennzeichnung ihren Stromverbrauch in Watt.

K 1089
Abb. 95. Nitralampe.

Neuerdings ist man bestrebt, alle Lichtquellen einheitlich nach ihrer Lichtleistung, nämlich dem **Lichtstrom**, gemessen in **Lumen**, zu bewerten. Die mittlere räumliche (sphärische) Lichtstärke einer Lampe erhält man durch Division des Lichtstroms mit 12,56 (4π); es ist also

$$\text{Lichtstrom} = 12{,}56 \times \text{Lichtstärke}.$$

Zum Vergleich der Wirtschaftlichkeit der verschiedenen Lichtquellen wird die Lichtausbeute (Lumen pro Watt, Lm/W) oder, wie bisher üblich, der spezifische Verbrauch (W/HK_o) angegeben.

Diese Werte betragen für

Kohlefadenlampen	2,5— 4,0 Lm/W	bzw.	3,0—5,0 W/HK_o
Metalldrahtlampen	6,7—11,0 „	„	1,2—1,6 „
gasgefüllte Lampen	9,0—25,0 „	„	0,6—1,6 „

Die **Wärmewirkung** des elektrischen Stromes wird je nach dem Verwendungszweck in verschiedener Weise nutzbar gemacht. Um den Strom zu Heiz- oder Kochzwecken zu benutzen, wird er in der Regel durch einen Draht geschickt, welcher so bemessen ist, daß er sehr warm wird **(Widerstandsheizung).** Alle gebräuchlichen Heizapparate enthalten Heizelemente, in denen der Heizdraht auf Isoliermaterial (Glimmer, Porzellan, Zement) aufgebracht ist. Die Stärke der Wärmewirkung hängt nur ab von der Stärke des Stromes und von dem Widerstand des Leiters, den er durchfließt. Hieraus geht hervor, daß die Stromart (Gleichstrom, Drehstrom) für die Benutzung der Widerstandsheizung gleichgültig ist, daß dagegen die Spannung je nach ihrer Höhe verschiedene Heizelemente bedingt. Lediglich Apparate, welche außer dem Heizelement auch motorische Einrichtungen besitzen (z. B. Haartrockner) verlangen Berücksichtigung der Stromart.

STROMERZEUGUNGS-ANLAGEN

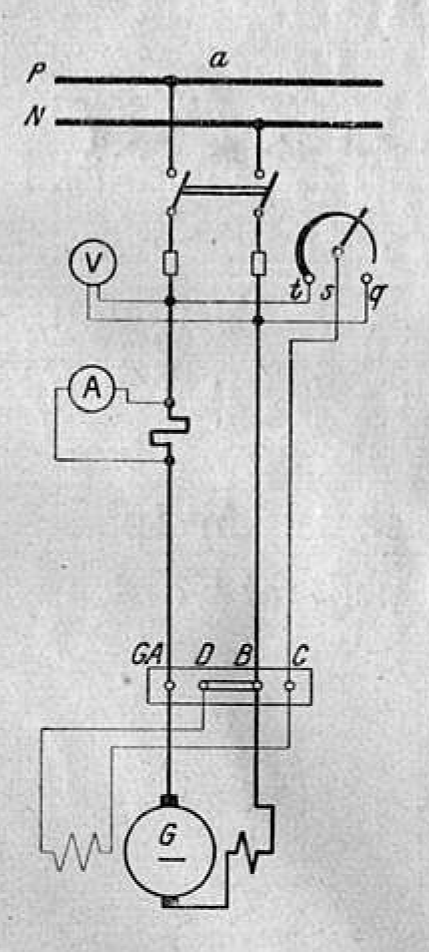
Die nachstehend behandelten Stromerzeugungsanlagen sind als private (z. B. industrielle) Zentralen kleineren oder mittleren Umfanges gedacht, deren Leistung im allgemeinen 500 kW nicht übersteigt. Infolgedessen ist auch bei den Schaltungen und Apparaten nicht das Maß von Betriebssicherheit zugrunde gelegt, wie es in öffentlichen Elektrizitätswerken üblich ist. Die Vollständigkeit der Meßeinrichtungen, die Bereithaltung von Reservesätzen und dergleichen kann daher in vielen Fällen reichhaltiger gestaltet werden. Soweit von Hochspannung die Rede ist, ist an Spannungen unter 20000 Volt gedacht worden.

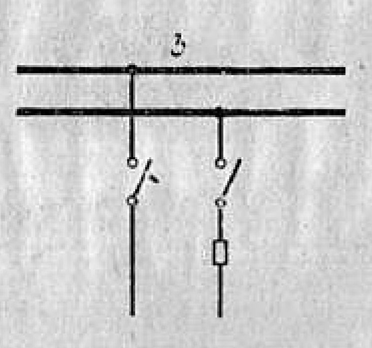
I. Gleichstromanlagen ohne Akkumulatorenbatterie.

Schaltungen.

Für eine Stromerzeugungsanlage ist die günstigste Lage in elektrischer Beziehung naturgemäß diejenige im Mittelpunkte des Stromversorgungsgebietes. Einesteils werden hierdurch die Längen und somit die Anlagekosten der zu den einzelnen Stromverbrauchern führenden Hauptleitungen und anderenteils auch die während des Betriebes in diesen Leitungen auftretenden Leistungsverluste auf ein Mindestmaß zurückgeführt. Für kleinere Anlagen ist der Gleichstrom die zweckmäßigste Stromart, da unter Verwendung einer Akkumulatorenbatterie auch während des Stillstandes der Maschine, also hauptsächlich während der Nachtstunden, eine Stromlieferung möglich ist.

In Gleichstrombetrieben hat sich der Nebenschlußgenerator wegen seiner für eine einwandfreie Betriebsführung günstigen elektrischen Verhältnisse und einfachen Bedienung am meisten eingeführt. Er findet sowohl in reinen Licht- bzw. Kraftanlagen als auch in gemischten Anlagen Verwendung. Abb. 1 zeigt die Schaltung eines Nebenschlußgenerators mit Hilfspolwicklung für eine Gleichstrom-Zweileiteranlage.





Erforderlich:

a) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Strommesser
2 einpolige Sicherungen
1 zweipoliger Hebelschalter (bis etwa 300 Amp.)

b) 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Strommesser
1 einpoliger Ueberstrom-Ausschalter
1 einpoliger Hebelschalter
1 einpolige Sicherung

TWL 11200

Abb. 1. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator.
(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen)

Bei Gleichstrom-Dreileiteranlagen wurden in früherer Zeit gewöhnlich zwei Generatoren hintereinander geschaltet und der Nullpunkt durch die Verbindungsleitung zwischen beiden Maschinen gebildet. Durch Verwendung eines Spannungsteilers ist man aber auch in der Lage, mit nur einer Maschine eine derartige Anlage zu speisen. Die Schaltung ist dann nach Abb. 2 auszuführen. Der Generator muß jedoch für die Außenleiterspannung gebaut sein und außer dem Kollektor zwei Schleifringe besitzen, welche mit zwei gegenüberliegenden Punkten der Ankerwicklung verbunden sind. An diese Schleifringe wird ein induktiver Widerstand angeschlossen, welcher als Spannungsteiler bezeichnet und von dessen Mitte der Nulleiter des Netzes abgenommen wird.

Solange die Belastung in den beiden Netzhälften gleich groß ist, fließt durch den Widerstand lediglich ein kleiner Wechselstrom zur Magnetisierung des Spannungsteilers. Sind die Belastungen jedoch verschieden groß, so fließt die Differenz der beiden Außenleiterströme durch den Nulleiter und die betreffende Hälfte des Spannungsteilers wieder zum Anker zurück. Der hierdurch im Spannungsteiler auftretende Spannungsverlust beträgt nicht mehr als etwa 1,5 % der halben Außenleiterspannung. Dieser Verlust tritt aber nur bei voller Belastung des Spannungsteilers, also des Nulleiters auf, welche nicht mehr als 15 Prozent der Außenleiterstromstärke betragen soll.

Eine weitere Art von Generatoren, welche in Gleichstrombetrieben noch Verwendung finden, ist der Compound- oder Doppelschlußgenerator. Er besitzt außer der Nebenschlußwicklung noch eine Reihenschlußwicklung

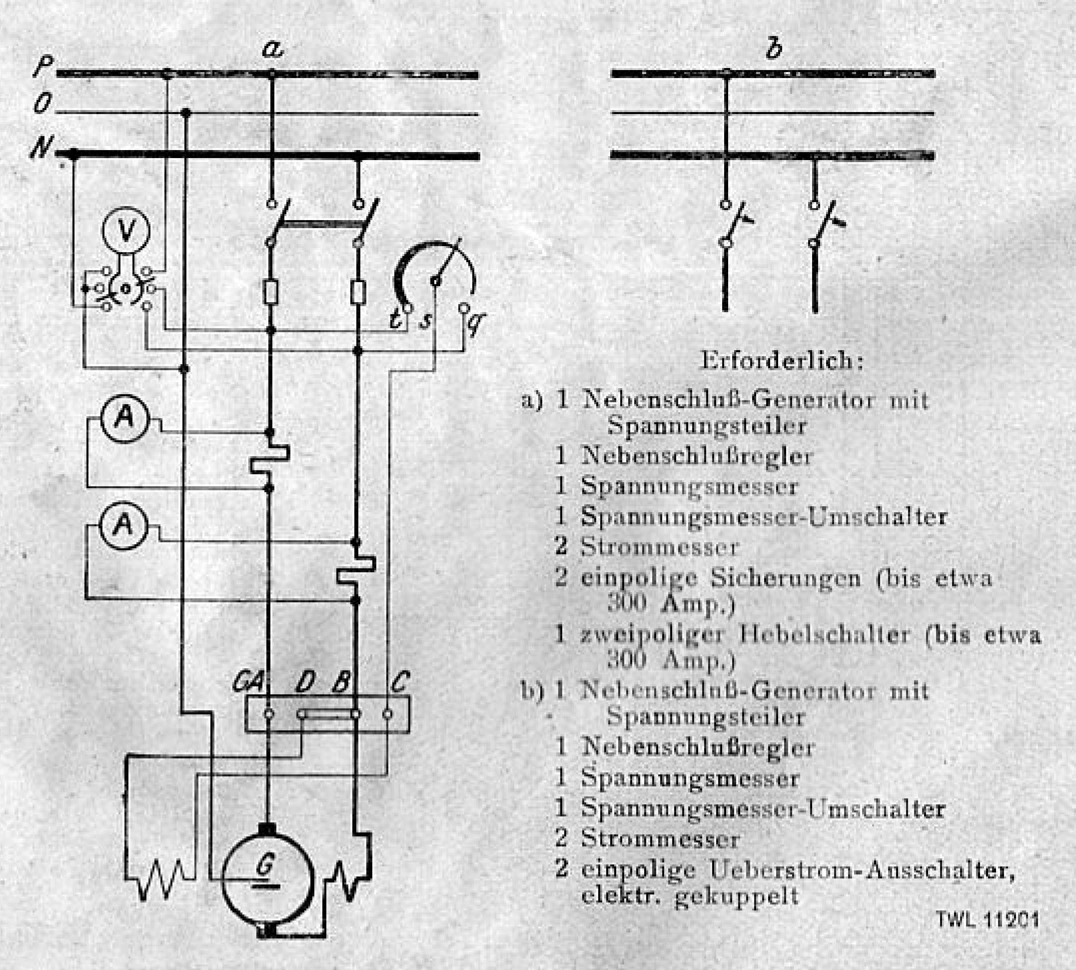


Abb. 2. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Dreileiter-Generator.
(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

und wird daher besonders in Kraftwerken für schwere Betriebe, in denen mit starken Belastungsschwankungen und Ueberlastungen zu rechnen ist, wie elektrische Bahnen, Hütten- und Walzwerken, verwendet. Die Reihenschlußwicklung kann auch so bemessen werden, daß die Klemmenspannung mit wachsender Belastung nicht nur konstant bleibt, sondern bei Vollast größer als bei Leerlauf ist, um den größeren Spannungsverlust in den Leitungen auszugleichen. Man spricht dann von einer Uebercompoundierung. Die Maschinen können ebenso wie die Nebenschlußgeneratoren für Spannungsteilung eingerichtet werden.

Parallelschalten von Gleichstromgeneratoren.

Nebenschlußgeneratoren.

Für ein gutes Parallelarbeiten von Nebenschlußgeneratoren ist erforderlich, daß die Belastungscharakteristik, welche die Abhängigkeit der Klemmenspannung von der Erregerstromstärke darstellt, bei den betreffenden Maschinen möglichst gleich ist, d. h. die Erregung und der Widerstand des Ankers müssen in gleichem Verhältnis zur Leistung der Maschine stehen. Nur dann erfolgt bei Belastungsschwankungen die Lastverteilung auf die einzelnen Maschinen selbsttätig ihren normalen Leistungen entsprechend. Sind diese Verhältnisse jedoch verschieden, so nehmen die stärker magnetisierten Maschinen mehr Last auf und können bereits über-

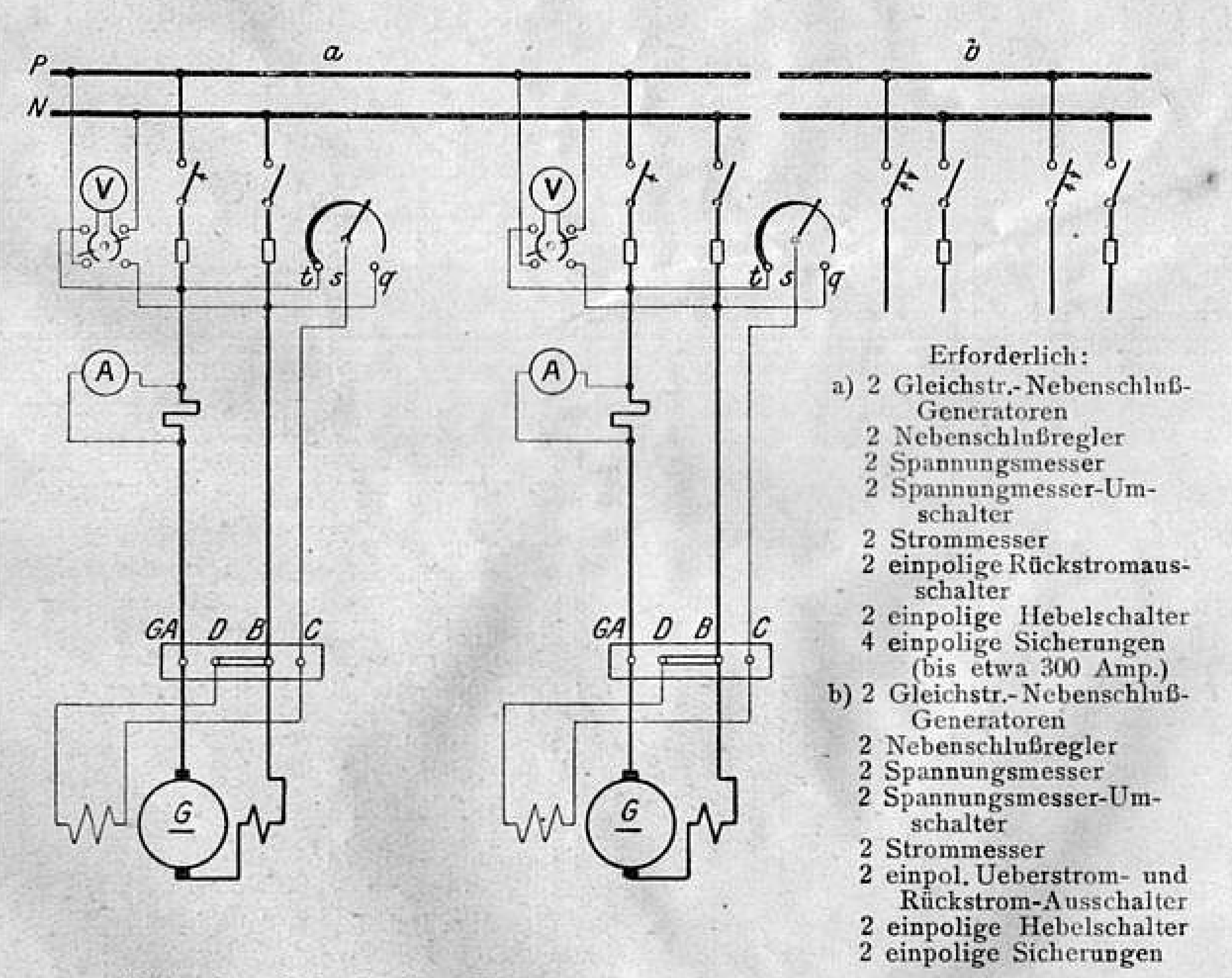


Abb. 3. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Zweileiter-Generatoren.

(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

lastet sein, während die weniger gesättigten leer mitlaufen. Es ist dann ein häufiges Verstellen der Nebenschlußregler erforderlich, um die Last wieder richtig zu verteilen. Die Schaltung für parallelarbeitende Nebenschlußmaschinen zeigt Abb. 3.

Vor der ersten Inbetriebsetzung eines Generators empfiehlt es sich, die Schaltung daraufhin zu kontrollieren, ob die gleichen Pole der Maschine an gleiche Sammelschienen angeschlossen sind. Zu diesem Zwecke wird, nachdem die Spannung des Generators auf die Höhe derjenigen der Sammelschienen gebracht worden ist, der Hebelschalter eingeschaltet und an die beiden Anschlußklemmen des Selbstschalters ein Drehspulspannungsmesser gelegt. Bei richtiger Schaltung zeigt das Instrument keinen Ausschlag, während andernfalls die doppelte Spannung angezeigt wird und die beiden zu den Sammelschienen führenden Leitungen am Generator vertauscht werden müssen.

Um einen Nebenschlußgenerator mit einem bereits in Betrieb befindlichen parallel zu schalten, ist er zunächst auf die normale Drehzahl zu bringen und die Klemmenspannung mit dem Nebenschlußregler so einzustellen, daß sie mit der Sammelschienenspannung übereinstimmt. Dann ist der Hebelschalter und der Selbstschalter einzuschalten und die Stromstärke in der Nebenschlußwicklung durch Ausschalten von Widerstand im Nebenschlußregler so lange zu erhöhen, bis der Strommesser die gewünschte Belastung anzeigt. Gleichzeitig ist die Erregung der ersten Maschine durch Vorschalten von Widerstand in ihrem Nebenschlußregler entsprechend zu schwächen. Während des Betriebes ist die Lastverteilung auf die Maschinen vermittels der Nebenschlußregler möglichst gleichmäßig vorzunehmen.

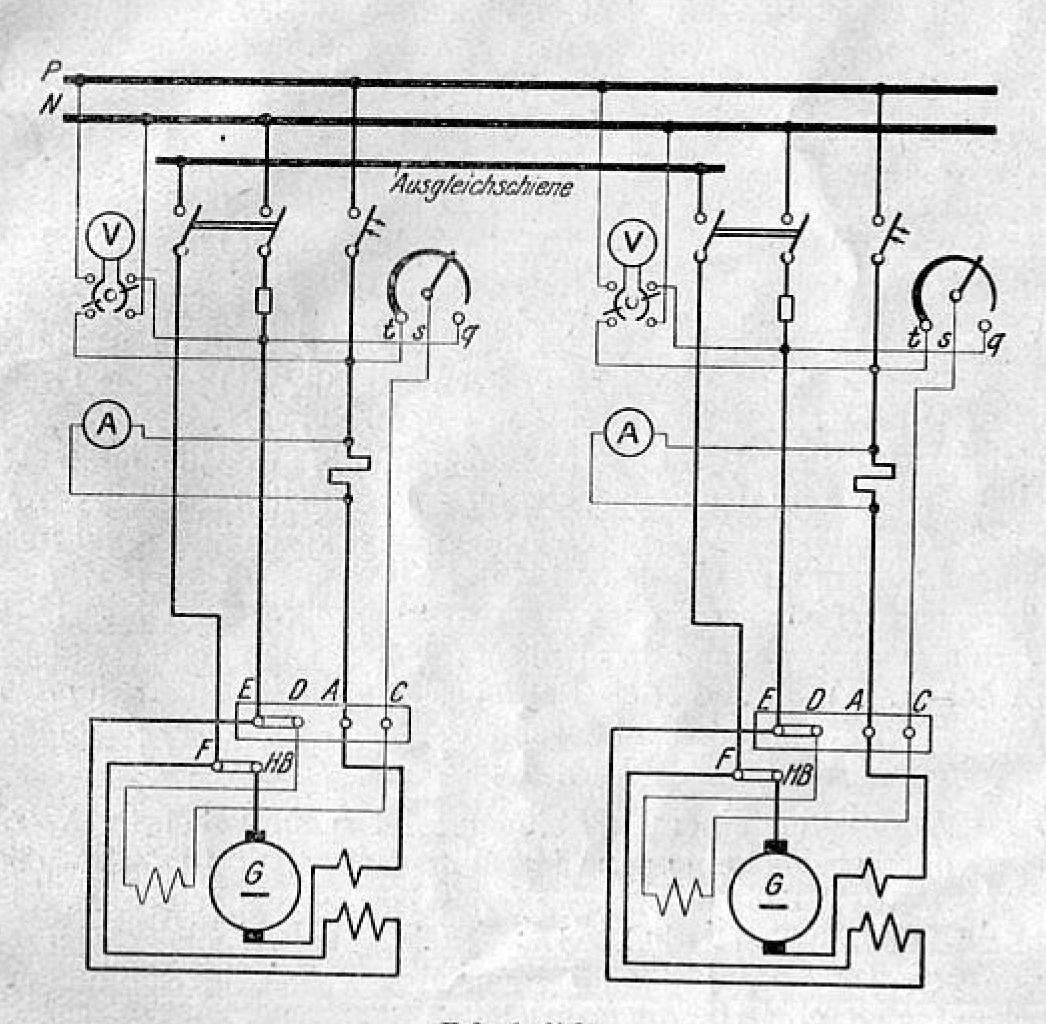
Das Abschalten einer Maschine erfolgt in umgekehrter Weise. Die Erregung der abzuschaltenden Maschine ist also zu schwächen und die der in Betrieb bleibenden zu verstärken, bis letztere Maschine die Gesamtlast übernommen hat. Der Selbstschalter der stillzusetzenden Maschine schaltet dann selbsttätig aus oder wird beim Stande des Strommessers auf Null von Hand ausgeschaltet.

Compound- oder Doppelschlußgeneratoren.

Das Parallelschalten von Compound- oder Doppelschlußgeneratoren ist nicht auf so einfache Art wie bei Nebenschlußgeneratoren möglich, da die Klemmenspannung nicht nur durch den Nebenschlußregler eingestellt wird, sondern sich mit wechselnder Belastung infolge der Reihenschlußwicklung auch selbsttätig ändert. Um alle parallelarbeitenden Maschinen an der Leistungsabgabe gleichmäßig zu beteiligen, ist die Parallelschaltung aller Reihenschlußwicklungen durch eine Ausgleichsleitung gemäß Abb. 4 erforderlich. Hierdurch verteilt sich der Gesamtstrom aller Maschinen auf die Reihenschlußwicklungen ihren Widerständen entsprechend und bewirkt dadurch eine gleichmäßige Aenderung der Maschinenspannungen. Ferner ist es nötig, daß die Widerstände der Anschlußleitungen der einzelnen Maschinen zu der Ausgleichs- und der Sammelschiene gleich groß sind. Bei Maschinen verschiedener Größe stimmt man außerdem die Widerstände der Reihenschlußwicklungen durch Parallelschalten von Widerständen gegenseitig ab.

Soll eine Doppelschlußmaschine mit einer Nebenschlußmaschine parallel arbeiten, so ist ebenfalls die Verlegung einer Ausgleichsleitung erforderlich. Bei der Nebenschlußmaschine wird dann die Reihenschlußwicklung durch einen Widerstand gleicher Ohmzahl ersetzt.

Das Parallelschalten selbst erfolgt in Zentralen für Licht- oder gemischten Betrieb, wo also ein Schwanken der Spannung möglichst



Erforderlich:

2 Gleichstrom-Doppelschluß-Generatoren
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
2 einpol. Ueberstrom- und Rückstrom-Ausschalter
2 zweipolige Hebelschalter
2 einpolige Sicherungen

Abb. 4. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Doppelschluß-Generatoren. TWL 11203

(Rechtslauf, von der Antriebsseite gesehen.)

vermieden werden muß, gewöhnlich auf folgende Weise. Nachdem die hinzuzuschaltende Maschine die normale Drehzahl erreicht hat, wird sie mit dem Nebenschlußregler auf die Sammelschienenspannung gebracht und alsdann der zweipolige Hebelschalter und der Selbstschalter eingeschaltet. Die Uebernahme der Last erfolgt nun nicht wie bei Nebenschlußmaschinen allmählich durch Verstellen der Regler, sondern in dem Moment des Einschaltens ganz plötzlich, wobei die bereits in Betrieb befindliche Maschine entlastet wird. Die Belastung pendelt in manchen Fällen zunächst noch einige Zeit zwischen den beiden Maschinen hin und her und kann dann mit den Nebenschlußreglern beliebig verteilt werden. Die Ausschaltung einer Maschine erfolgt durch Erhöhung

des Widerstandes im Regler, wodurch der Maschinenstrom allmählich abnimmt, bis schließlich der Selbstschalter ausschaltet. Der zweipolige Hebelschalter ist dann ebenfalls auszuschalten und die Sammelschienenspannung nötigenfalls durch den Regler der in Betrieb bleibenden Maschine nachzuregeln.

Bei einer zweiten Art der Parallelschaltung, bei der ein Schwanken der Netzspannung unvermeidlich ist, wird zunächst durch Einschalten des zweipoligen Hebelschalters die Reihenschlußwicklung der hinzukommenden Maschine zu derjenigen der bereits in Betrieb befindlichen parallel geschaltet. Die durch die Verteilung des erregenden Hauptstromes auf zwei Generatoren bedingte Schwächung des Magnetfeldes der arbeitenden Maschine hat ein Sinken der Sammelschienenspannung zur Folge und diese muß durch den Nebenschlußregler nachgeregelt werden. Dann ist die neue Maschine auf die normale Drehzahl und ihre Spannung auf gleiche Höhe mit der Sammelschienenspannung zu bringen. Nun ist auch der Selbstschalter einzuschalten und die Lastverteilung durch Verstellen der beiden Nebenschlußregler vorzunehmen. Das Ausschalten eines Generators erfolgt in genau derselben Weise wie bei der ersten Art der Parallelschaltung.

II. Gleichstromanlagen mit Akkumulatorenbatterie.

Akkumulatoren.

Akkumulatoren (Sammler) dienen zur Aufspeicherung elektrischer Energie, um diese zu beliebiger Zeit wieder entnehmen zu können.

Grundform und Wirkungsweise des Bleiakkumulators.

Eine Akkumulatorenzelle besteht in ihrer einfachsten Form aus einem mit verdünnter Schwefelsäure gefüllten Gefäß, in welches zwei besonders präparierte Bleiplatten, die braune positive (Bleisuperoxyd-) und die graue negative (Bleischwamm-) Platte eingesetzt sind.

Entladung. Verbindet man die beiden Platten durch einen äußeren Leiter, so fließt ein Strom von der positiven Platte (dem +-Pol der Zelle) durch diesen Stromkreis zur negativen Platte (dem —-Pol der Zelle) und in der Zelle von der negativen durch die Säure zur positiven Platte zurück. Man bezeichnet diesen Vorgang als die Entladung der Zelle, den Strom, welchen die Zelle abgibt, als den Entladestrom. Während der Entladung findet eine Veränderung an den Platten und in der Säure statt. An den Platten bildet sich Bleisulfat, während die Schwefelsäure zum Teil aufgebraucht und Wasser neu gebildet wird; infolgedessen nimmt das spezifische Gewicht der Säure (die Säuredichte) ab. Die Spannung der Zelle geht im Laufe der Entladung zuerst langsam, dann schneller zurück; nach einem gewissen Spannungsabfall betrachtet man die Zelle als praktisch entladen.

Ladung. Soll die entladene Zelle wieder geladen werden, so muß ihr +-Pol mit dem +-Pol einer fremden Gleichstromquelle von höherer Spannung, ihr —-Pol mit dem —-Pol dieser Stromquelle verbunden werden. Es fließt dann ein Strom in umgekehrter Richtung als Ladestrom durch

die Zelle. Durch die Ladung wird der ursprüngliche Zustand der Platten und die ursprüngliche Säuredichte wieder hergestellt. Gegen Ende der Ladung tritt an den Platten eine immer lebhafter werdende Gasentwicklung auf. An den positiven Platten bildet sich Sauerstoff, an den negativen Wasserstoff. Es wird nicht mehr der gesamte Ladestom nutzbar in den Platten aufgespeichert, sondern ein immer wachsender Teil, schließlich der ganze Strom zur Wasserzersetzung verbraucht. Der Eintritt einer kräftigen Gasentwicklung an beiden Platten ist das sicherste Zeichen für genügende Ladung.

Elektrische Größen des Bleiakkumulators.

Spannung. Eine geladene Zelle hat im stromlosen Zustande eine Spannung (E.M.K.) von etwa 2,05 V. (gleich nach der Ladung ca. 2,10 V.). Bei Entladung sinkt die Spannung sofort, je nach der Höhe des Entladestromes, auf 2,0 — 1,93 V., fällt dann zuerst langsamer bis auf 1,9 V., gegen Ende der Entladung schneller ab.

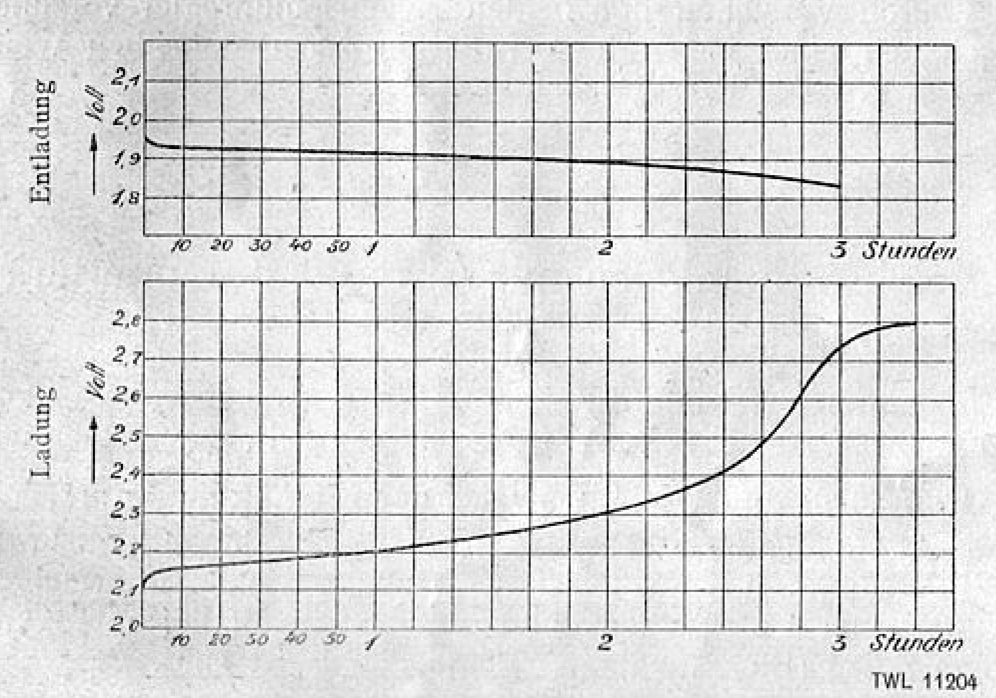


Abb. 5. Spannungsverlauf einer Zelle bei dreistündiger Entladung und Ladung mit höchstzulässigem Ladestrom.

Als zulässige Endspannung gilt:

bei langsamer, d. h. für 3—10 stündige Entladung	.	1,83 V.
„ schneller, „ „ „ 1— 2 „ „	.	1,75 „

Bei der Ladung steigt die Spannung sofort auf etwa 2,15 V. und nimmt dann, zuerst langsam, später schneller zu bis etwa 2,75—2,80 V. Die Gasentwicklung beginnt bei ca. 2,40 V. Abb. 5 zeigt den Spannungsverlauf bei dreistündiger Entladung und Wiederladung mit höchstzulässigem Ladestrom.

Kapazität. Unter Kapazität versteht man diejenige Strommenge, die man einem geladenen Akkumulator entnehmen kann, bis die Endspannung erreicht ist. Sie wird durch das Produkt aus dem Entladestrom und der Entladezeit (Amperestunden) ausgedrückt. Die Kapazität ist abhängig von der Höhe des Entladestromes; je niedriger dieser, je

länger also die Entladezeit, desto größer die Kapazität. In Prozenten der dreistündigen beträgt die Kapazität bei Entladung in

1 Stunde	69%
2 Stunden	82%
3 „	100%
5 „	111%
7½ „	123%
10 „	134%

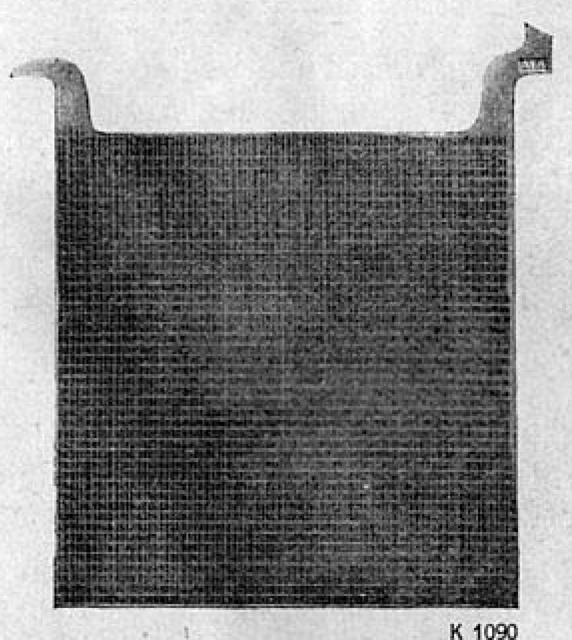
Garantiert wird nur eine bestimmte, und zwar die dem höchstzulässigen Entladestrom entsprechende Kapazität.

Ladestrom. Der höchstzulässige Ladestrom entspricht dem dreistündigen Entladestrom; gegen Ende der Ladung, wenn die Gasentwicklung stärker wird, soll der Ladestrom auf die Hälfte verringert werden.

Wirkungsgrad. Der durch die Gasentwicklung verursachte Stromverlust hat zur Folge, daß zu einer vollen Aufladung dem Akkumulator ein bestimmter Ueberschuß an Strommenge zugeführt werden muß. Das Verhältnis der bei voller Entladung erhaltenen zu der für volle Aufladung nötigen Strommenge in Amperestunden beträgt etwa 90%. Das Verhältnis der entsprechenden Energiemengen in Wattstunden ist der Wirkungsgrad des Akkumulators. Er beträgt bei drei- bis zehnstündiger Entladung etwa 75%, bei einstündiger 70%.

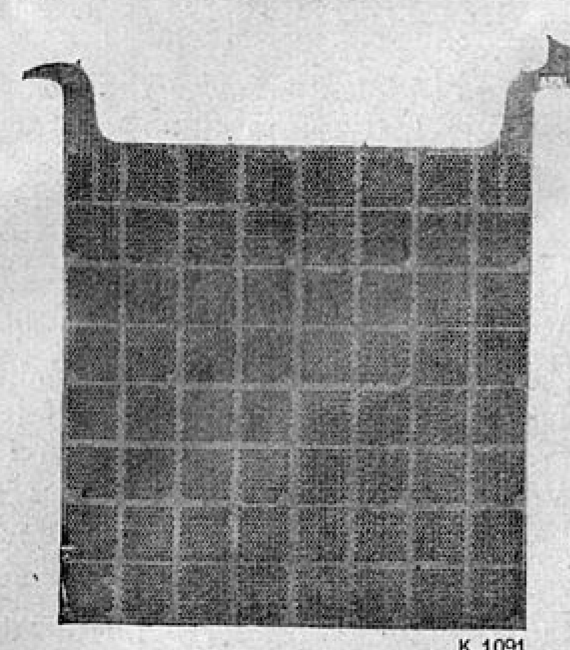
Bauart der ortsfesten Zellen.

Positive Platte. Die positive Platte (Abb. 6) ist in der Regel eine sogenannte Großoberflächenplatte, d. h. eine gegossene Weichbleiplatte, deren Gesamtoberfläche infolge geeigneter Formgebung (feinteilige Rippen- oder Gitterkonstruktion) das Acht- bis Neunfache der linearen beträgt. Die wirksame Superoxydschicht wird bei der Herstellung der Platte durch elektrochemische Einwirkung (Formierung) aus dem Blei heraus erzeugt. Geliefert wird die Platte meist mit negativ geladener Schicht, die bei der ersten Ladung wieder in Superoxyd umgewandelt wird.



K 1090

Abb. 6. Positive Großoberflächenplatte.



K 1091

Abb. 7. Negative Kastenplatte.

Negative Platte. Die negative Platte (Abb. 7) besitzt entweder die Form eines engmaschigen Gitters, in welches die wirksame Masse in Form einer Paste aus Bleiglätte und Schwefelsäure eingetragen wird (Gitterplatte), oder sie besteht aus einem weitmaschigen, quadratischen Hartbleigitter, das auf beiden Seiten von aufgegossenem, fein durchlochtem Bleiblech bedeckt wird; die dadurch gebildeten Hohlräume dienen zur Aufnahme der Massekuchen (Kastenplatte). Bei der ersten Ladung wird die Masse der negativen Platten in Schwammblei verwandelt.

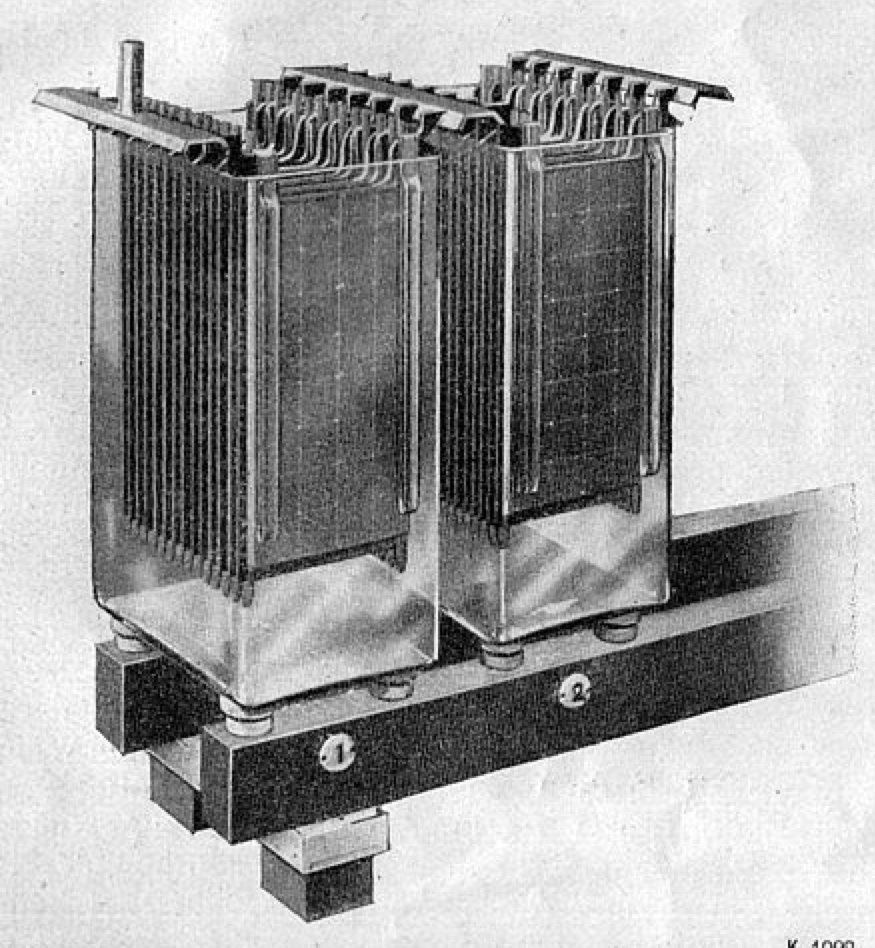


Abb. 8. Vereinigung der Platten zu einem Plattensatz und Herstellung der Zellenverbindung durch eine Bleileiste.

Plattensatz. Um die erforderliche Kapazität zu erhalten, werden die gleichartigen Platten zu mehreren nebeneinander angeordnet und durch Anlöten an eine Bleileiste zu einem Plattensatz vereinigt (Abb. 8). Die positiven und negativen Platten werden abwechselnd mit einem Abstand von ca. 10 mm in das Gefäß eingehängt. Als Endplatten dienen negative Platten, die jedoch nur auf der nach innen gewandten Seite mit wirksamer Masse versehen werden (negative halbe oder Endplatten).

Gefäße. Die kleineren Zellen bis zu 500 Astd. erhalten Glasgefäße. Doppelzellen, die durch Parallelschaltung zweier Zellen erhalten werden, erweitern die Verwendung von Glasgefäßen bis zur doppelten Kapazität. Von etwa 1000 Astd. ab pflegt man mit Bleiblech ausgekleidete, säurebeständig gestrichene Holzkästen zu verwenden.

Einbau. Bei den Glasgefäßen hängen die Platten mit ihren Fahnen auf dem Gefäßrande, bei Holzkästen auf Glasstützscheiben, deren Oberkante den Kastenrand etwas überragt. Ueber den Platten bleibt ein

gewisser Nachfüllraum, unterhalb derselben ein Raum für die Ablagerung der Masse, zu beiden Seiten ein geringer Abstand für das Wachsen der positiven Platten. Zwischen den Platten werden in der Regel dünne Holzbrettchen angeordnet mit Glasrohren oder Holzstäben als Abstandssicherung. Vom Gefäß abgestützt wird der Plattensatz durch federnde Bleibügel, bei Holzkästen meist nur durch Glasrohre. Holzkästenzellen werden in der Regel mit Glasscheiben abgedeckt, um bei der Gasentwicklung verspritzende Säure aufzufangen.

Zellenverbindung. An der einen Plattenfahne befindet sich ein Ansatz zur autogenen Verbindung (sog. „Verlötung") der Platte mit der Bleileiste, die auch zur Hintereinanderschaltung benachbarter Zellen dient. Leitungen (z. B. die Gruppenverbindungs-, Zellenschalter- und Endleitungen) werden durch Einlöten in Bleipolschuhe angeschlossen, die sich in der Mitte der betreffenden Leisten befinden (Polschuhleisten, Abb. 8). Bei sehr großen Zellen werden diese Leisten durch Kupfereinlagen verstärkt.

In der Regel erfordert der Zweck des Akkumulators eine höhere Spannung als die einer einzelnen Zelle; daher müssen soviel Zellen, wie für die Gebrauchsspannung nötig sind, zu einer Batterie hintereinander geschaltet werden.

Isolierung. Die Zellen müssen von den Holzgestellen, auf denen sie stehen, durch Porzellanisolatoren mit Weichbleischeiben als Zwischenlage getrennt werden.

Schwefelsäure. Die zur Füllung von Akkumulatoren erforderliche Schwefelsäure von 1,18 spez. Gew. muß entweder vom Lieferanten des Akkumulators oder von einer durch diesen nachgewiesenen Firma bezogen werden. Sie hat bestimmten Reinheitsvorschriften zu genügen, deren Erfüllung im Einzelfalle vor Verwendung der Säure durch chemische Prüfung festgestellt wird.

Akkumulatorenräume.

Allgemeine Anforderungen. Akkumulatorenbatterien werden in besonders für sie bestimmten und eingerichteten Räumen aufgestellt, die nach den Verbandsvorschriften als „abgeschlossene elektrische Betriebsräume" gelten, d. h. als solche Räume, welche nur zeitweise durch unterwiesenes Personal betreten, im übrigen aber unter Verschluß gehalten und nur durch beauftragte Personen geöffnet werden. Zu anderen Zwecken dürfen diese Räume nicht benutzt werden.

Ein Akkumulatorenraum muß trocken und hell, gut gelüftet und gegen Eindringen von Staub und schädlichen Gasen geschützt sein. Starken Erschütterungen ausgesetzte Räume sind ungeeignet, auch sollen keine allzu großen Temperaturschwankungen auftreten. Heizanlagen sind in der Regel nicht erforderlich, künstliche Lüftung nur in seltenen Fällen.

Wände, Decke usw. Wände und Decke eines Akkumulatorenraumes können aus Holz oder Mauerwerk bestehen. Zementputz ist nicht nötig, wenn Verblendsteine oder gute Maschinenziegelsteine verwendet und mit Zement ausgefugt worden sind. An der Decke ist Zementputz zu vermeiden, da er sich leicht lockert und abfällt. Fenster sind so

reichlich wie möglich anzubringen, damit der Raum helles Tageslicht erhält und gut gelüftet werden kann.

Ist der Raum so gelegen, daß sich unmittelbar über ihm Menschen aufhalten, die durch Säuredämpfe belästigt werden, so muß eine massive Steindecke eingebaut werden, damit die Säuredämpfe nicht durchdringen können. Falls sich an den Akkumulatorenraum ein Raum anschließt, in dem sich eine Maschinen- oder Schaltanlage befindet, so dürfen beide Räume nicht durch eine Tür verbunden werden, damit die Maschinen und Apparate nicht unter der Einwirkung von Säuredämpfen leiden.

Anstrich. Wände, Decken und Eisenteile werden am besten mit säurebeständigem, alkoholfreiem Emaillelack gestrichen, wobei Eisenkonstruktionen zuerst mit Mennige zu grundieren sind. Für Wände und Decken empfiehlt sich ein möglichst heller Lack, während man Eisenteile schwarz oder grau zu streichen pflegt.

Beleuchtung. Die Beleuchtung des Akkumulatorenraumes darf nur durch elektrisches Glühlicht erfolgen. An geeigneten Stellen sind Steckdosen in Gußgehäuse anzubringen, damit man mit einer tragbaren Glühlampe sämtliche Zellen bei Untersuchungen ableuchten kann. Für die Leitungsanlage sind nur blanke Leitungen von mindestens 4 qmm Querschnitt zu verwenden, und auf Kellerrollen, PL Nr P 50, zu verlegen. Die Niederführungen sind als Gummiaderdraht in Stahlpanzerrohr auf Abstandsschellen auszuführen. Als Deckenbeleuchtungen sind nur Porzellanarmaturen zu verwenden, die ebenso wie die Handlampen mit Schutzglas versehen sein müssen.

Fußboden. Besondere Sorgfalt ist auf die Herstellung eines genügend tragfähigen und säurefesten Fußbodens zu legen.

In Kellern bildet in der Regel festgestampfter Erdboden mit einer Rollschicht aus hartgebrannten Ziegeln oder einem Zementbelag einen genügend festen Untergrund. Bei sandigem Boden empfiehlt es sich, unter der Rollschicht eine etwa 5 cm starke, gut aufliegende Betonschicht aufzubringen. Die Fugen zwischen den Steinen von etwa 1 cm Breite werden zweckmäßig mit einem Gemisch von heißem Steinkohlenteer und reinem Trinidad-Asphalt ausgegossen, nachdem man sie vorher bis etwa 1 cm unter der Oberkante mit feinem Sand ausgefüllt hat.

In Stockwerken wird man je nach der Deckenkonstruktion einen Holz-, Zement- oder Betonfußboden anlegen.

Weiter muß gefordert werden, daß der Fußboden gegen die zersetzende Wirkung der Säure ausreichend zu schützen ist, da Zement von der Säure sehr leicht zerstört wird, und auch Holz bei längerer Einwirkung derselben leidet.

Das einfachste Mittel, Holz- oder Zementfußböden zu schützen, besteht in einem heiß aufgetragenen Steinkohlenteer-Anstrich mit aufgestreutem reinen Quarzsand. Einen wirksamen Schutz für Zementfußböden bietet auch ein Belag von bestem, wirklich reinem Trinidad-Asphalt. (Geringere Asphaltsorten sind nicht widerstandsfähig und daher durchaus unbrauchbar.) Nach besonderer Vorschrift hergestellt, ist dieser Belag genügend tragfähig. Um das Einsinken der Gestelle in den Asphalt zu verhindern, legt man an den Stützpunkten der Gestelle säurebeständig hartgesinterte Tonplatten (sog. Mettlacher oder Mosaikplatten) in die Asphaltschicht ein, und

zwar so, daß sie direkt auf dem festen Untergrunde ruhen. Auf diese Platten werden die Gestellunterlagen gesetzt, die daher das ganze Batteriegewicht direkt auf den gemauerten oder zementierten Untergrund übertragen und die Asphaltdecke vollständig entlasten.

Ein sehr guter Fußboden wird durch Pflasterung mit säurebeständigen, hartgesinterten Tonplatten erhalten, deren Fugen mit einem Gemisch aus Asphalt und Steinkohlenteer vergossen werden. Endlich ergibt eine Flachschicht von guten Eisenklinkern (d. s. hartgebrannte, auf der Oberfläche gesinterte Ziegelsteine) einen vorzüglichen, besonders für große Anlagen geeigneten Fußboden.

Ausführliche Vorschriften für die Herstellung des Batterieraumes und insbesondere des Fußbodens stehen zur Verfügung.

Aufstellung von Akkumulatorenbatterien.

Die Möglichkeit, eine Batterie beliebig zu unterteilen, gestattet ihre Anpassung an die verschiedensten Raumverhältnisse. Batterien in Einzelglasgefäßen dürfen bei Raummangel auch in zwei Reihen übereinander, auf sog. Etagengestellen (Abb. 10) und auf Stufengestellen (Abb. 11), stehen.

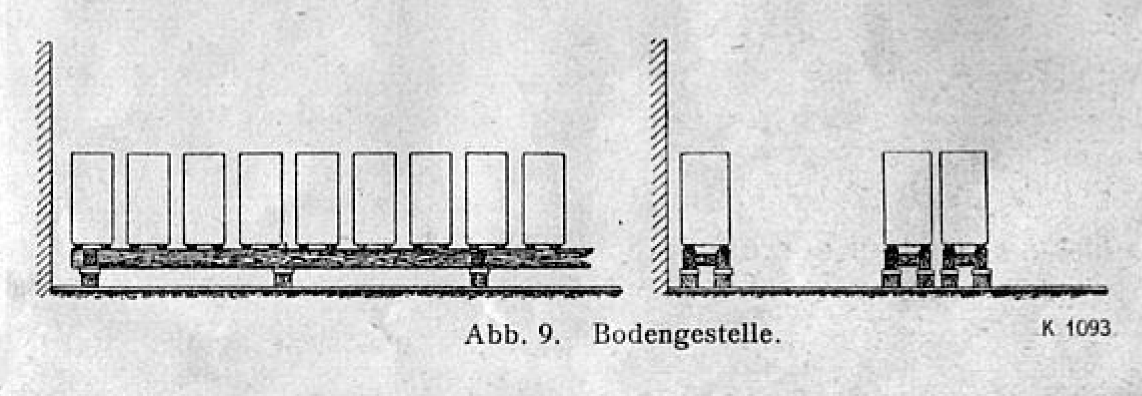


Abb. 9. Bodengestelle. K 1093

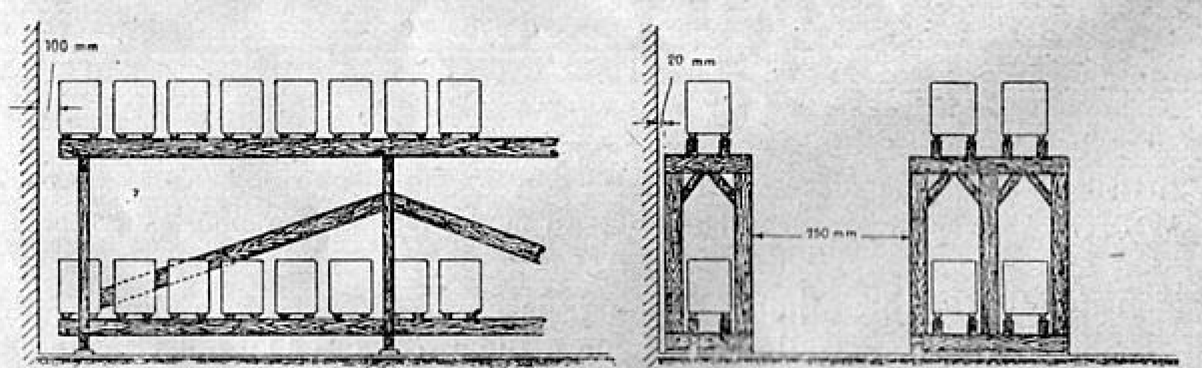


Abb. 10. Etagengestelle (Anordnung von 2 Reihen übereinander) K 1094

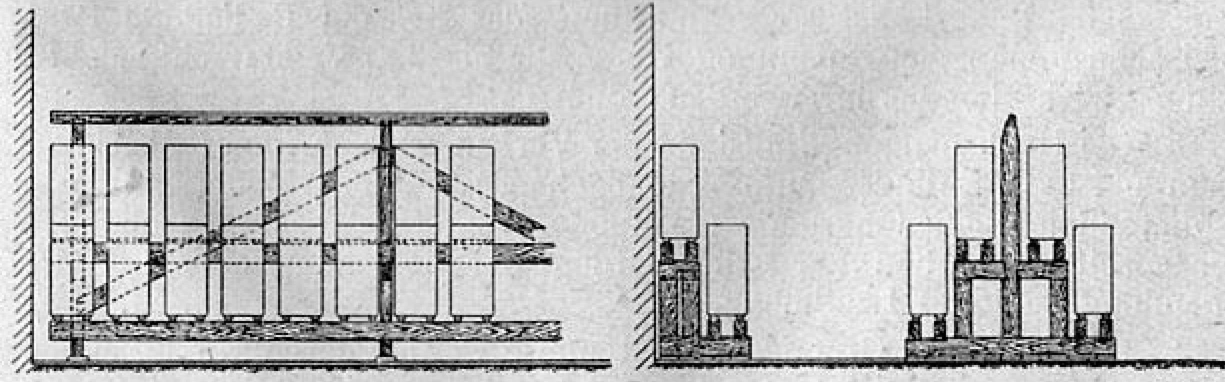
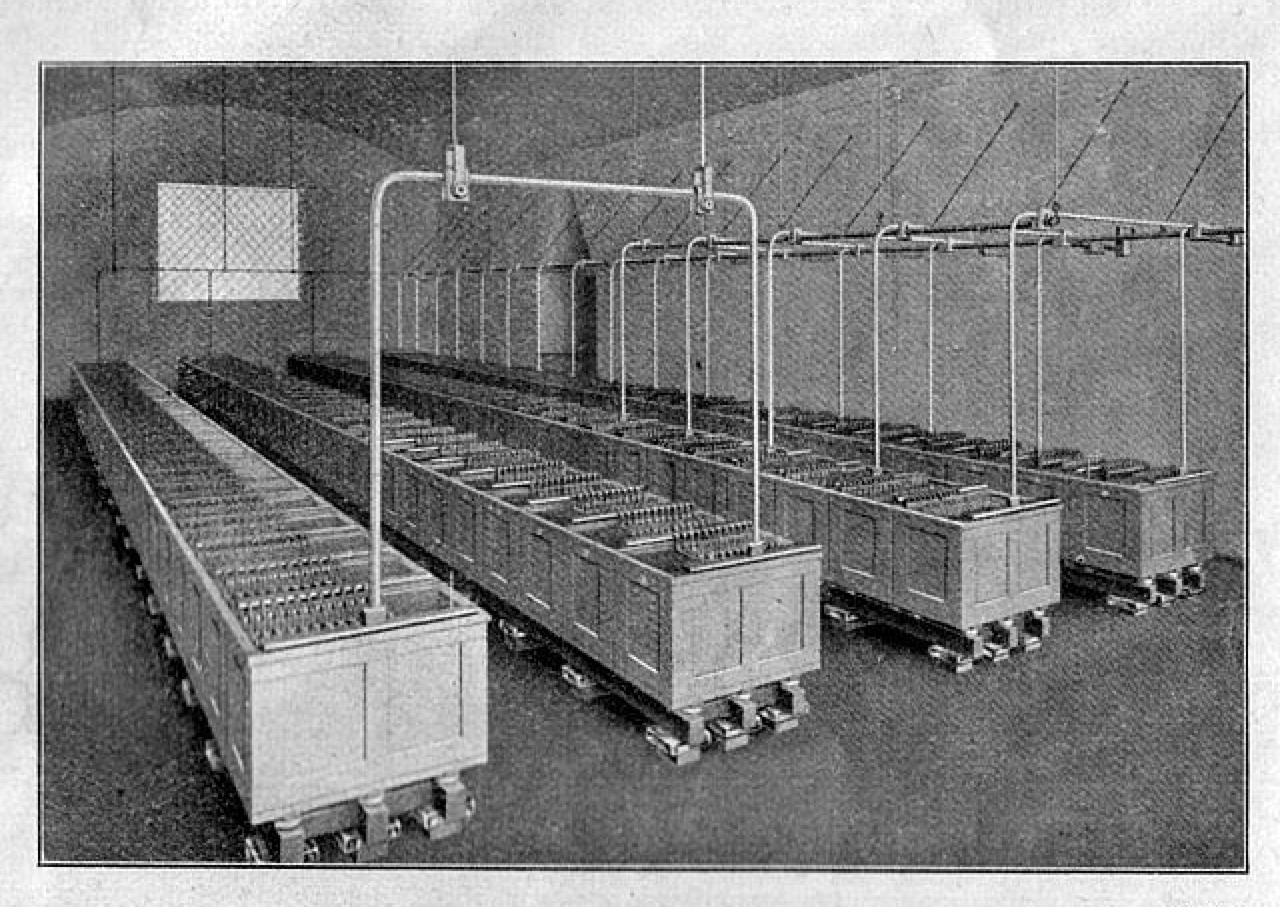


Abb. 11. Stufengestelle (Anordnung von 2 Reihen nebeneinander.) K 1095

Besser und bei größeren Zellen allein zulässig, ist die Bodenaufstellung (Abb. 9).

Holzgestelle. Die Holzgestelle werden aus harzreichem, lufttrockenem und möglichst astfreiem Pitchpine- oder Kiefernholz ohne Verwendung von Eisen angefertigt und mit Leinöl, Teer, Asphaltlack usw. getränkt. Die verschiedenen Gestellarten zeigen Abb. 9—11.

Vom Boden werden die Gestelle meist durch quadratische Glasuntersätze mit Abtropfkante isoliert, die auf Holzklötzen aufliegen. Diese Isolierung genügt bis 750 V. Bei Spannungen von 750—1500 V. ist einfache, von 1500 V. ab doppelte Hochspannungsisolierung nötig.



K 1096

Abb. 12. Akkumulatorenbatterie in Holzkästen mittlerer Größe auf Bodengestellen.

Aufstellung. Sämtliche Zellen müssen wenigstens von einer Seite, die größeren Holzkastenzellen (und auch die größeren Doppel-Glasgefäßzellen) von beiden Seiten frei zugänglich sein. Die Bedienungsgänge sollen wenigstens 75 cm breit sein.

Jede Batterie ist so anzuordnen, daß bei der Bedienung Punkte, zwischen denen eine Spannung von mehr als 250 V. herrscht, nicht zufällig gleichzeitig berührt werden können.

Bei Hochspannung im Sinne der Verbandsvorschriften (bei Akkumulatoren ist die **Entladespannung** maßgebend) muß eine Batterie von einem isolierenden Bedienungsgang (Laufboden) umgeben sein. Hohe Holzkastenzellen erhalten zur Erleichterung der Bedienung eine (bei Hochspannung isolierte) Laufbühne.

Die einzelnen Gruppen einer Batterie werden durch Kupferleitungen (Gruppenverbindungen) hintereinander geschaltet.

Einen Anhalt für Gewicht und Raumbedarf einer Batterie gibt folgende Tabelle:

für 1 kW 3 stündiger Leistung	kleine Zellen in Glasgefäßen	mittlere Zellen (in Holzkästen)	große Zellen (in Holzkästen)
Gewicht kg	500	450	425
Bodenfläche qm	2—1	0,7	0,4

Abb. 12 zeigt eine Batterie in Holzkästen mittlerer Größe.

Zubehör. Außer den Holzgestellen, Laufböden und Laufbühnen sind folgende Zubehörteile nach Bedarf erforderlich:

- ein Satz Ueberbrückungsklemmen zur Ausschaltung einzelner Zellen (z. B. bei Gefäßbruch),
- einige Säuremesser zur Kontrolle des Säurestandes,
- Reagenzien zur chemischen Untersuchung der Nachfüllflüssigkeiten,
- eine Handlampe mit der nötigen, gegen Säure geschützten Anschlußleitung und den erforderlichen Steckdosen zur Revision der Zellen,
- ein Kurzschlußfinder (Magnetnadel) zur Aufsuchung von Kurzschlüssen zwischen den Platten,
- ein Glaskrug zum Nachfüllen der Zellen,
- ein Säurebottich zum Aufbewahren der Nachfüllsäure.

Statt des Säurebottichs wird auch mitunter ein Ballonkipper benutzt. Für hohe Etagengestelle ist ein Wartungstritt nötig.

Zellenschalterleitungen.

Beim Entwurf einer elektrischen Stromerzeugungsanlage ist auf möglichst kurze Zellenschalterleitungen Wert zu legen. Jede unnötige Verlängerung derselben bedeutet sowohl eine Verteuerung der Anlage als auch nach der Inbetriebsetzung wegen des höheren Spannungsverlustes eine Verschlechterung des Wirkungsgrades. Man legt daher den Batterieraum tunlichst neben den Maschinenraum und stellt die Schaltzellen an der Trennwand beider Räume oder in deren Nähe auf. Bei kleineren Anlagen, in denen der Zellenschalter stets von Hand bedient wird und auf der Schalttafel montiert ist, wird man außerdem die Tafel an der erwähnten Trennwand aufstellen. Die Batterie wird aber auch vielfach im Keller unterhalb des Maschinenraumes aufgestellt; dann sind die Schaltzellen direkt unter der Schalttafel anzuordnen.

In größeren Anlagen wird es jedoch nicht immer möglich sein, die Entfernung zwischen Schalttafel und Schaltzellen auf das geringste Maß zu bringen. Da in diesen Fällen gewöhnlich ein automatischer Zellenschalter verwendet wird, montiert man diesen von der Schalttafel getrennt in der Nähe der Batterie auf einem besonderen Eisengerüst.

Der Querschnitt der Zellenschalterleitungen muß hinsichtlich der Erwärmung der unter „Bemessung von Leitungen“ angegebenen Belastungstabelle für isolierte Kupferleitungen genügen. Ferner soll der Spannungsabfall in den längsten Leitungen höchstens 0,5% betragen.

Die Verlegung der Zellenschalterleitungen erfolgt im Maschinenraum entweder als blankes Flachkupfer auf Isolatoren oder als Kupferdraht mit Gummiaderisolation auf Porzellanrollen oder in Isolierrohr mit Metallmantel. Bei der letzteren Verlegungsart können je nach dem Querschnitt 2 bis 3 Leitungen in einem Rohre angeordnet werden. In dem Batterieraum sind nur blanke massive Rund- oder Flachkupferleitungen zu verwenden, welche entweder mit säurefestem Lackanstrich zu versehen oder mit Oel, konsistentem Fett, Vaseline u. dergl. einzufetten sind. Das Einfetten muß an den Stellen, welche der Säurewirkung besonders ausgesetzt sind, etwa alle 4 bis 6 Wochen wiederholt werden.

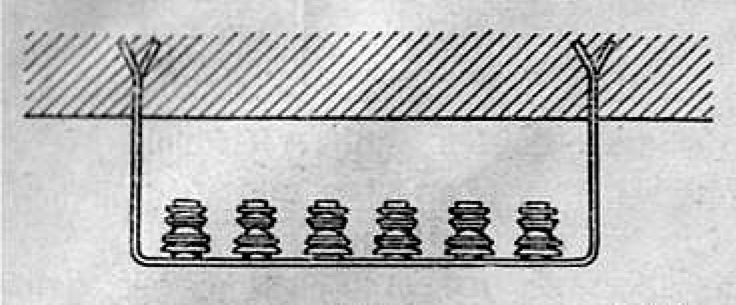
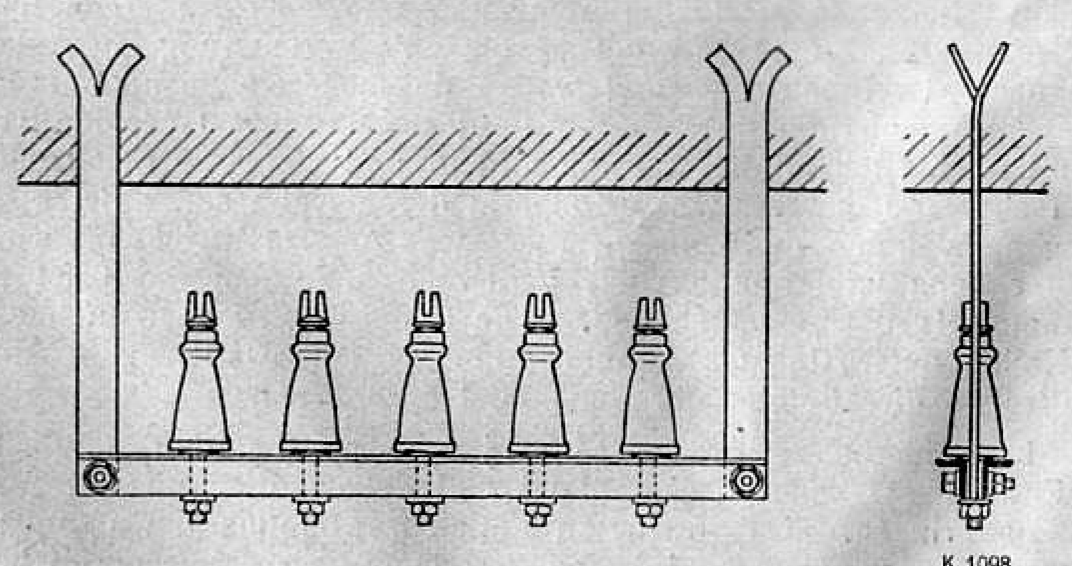


Abb. 13. K 1097
Eisenregister für Rundkupferleitungen.

Die Leitungen im Batterieraum werden, soweit es sich um Rundkupfer handelt, auf Porzellanrollen mit großer Oberfläche (Kellerrollen) verlegt, welche in niedrigen Räumen unmittelbar an der Decke befestigt werden. Zweckmäßiger ist jedoch die Anordnung der Rollen auf Registern aus Flacheisen nach Abb. 13, bei denen wesentlich weniger Befestigungslöcher in der Decke erforderlich sind. Für Querschnitte bis 35 qmm sind Kellerrollen, PL Nr P50, bis 95 qmm PL Nr P51 und bis 150 qmm PL Nr P52 zu verwenden. Die Rollen werden auch vielfach in zwei Reihen übereinander auf einem Register angeordnet. Für Kupferschienen werden ähnliche Konstruktionen verwendet. Wie Abb. 14 zeigt, gestatten diese Register eine bequeme Verschiebung der Isolatoren in seitlicher Richtung, so daß eine schnurgrade Verlegung der Schienen möglich ist.



K 1098
Abb. 14. Eisenregister mit Isolatoren für Verlegung von Kupferschienen.

Besondere Sorgfalt ist auf die Ausführung der Wanddurchführungen zum Batterieraum zu legen. Da Maschinen und Apparate unter der Einwirkung von Säuredämpfen leiden, müssen die Durchführungen sorgfältig abgedichtet werden. Für Leitungen bis 6 qmm sind die im Abschnitt „Offene Verlegung" näher beschriebenen zweipoligen Wanddurchführungen sehr vorteilhaft. Diese sind vollständig mit Isoliermasse ausgegossen und enthalten gleichzeitig an beiden Seiten in einem abgedichteten Porzellankörper die erforderlichen Verbindungsklemmen, so daß sowohl eine einwandfreie Abdichtung gewährleistet ist, als auch eine besondere Verbindung mit den Leitungen fortfällt. Abb. 15 zeigt die seitliche Ansicht dieser Wanddurchführung. Für stärkere Leitungen als 6 qmm sowie für Kupferschienen setzt man nach Abb. 16 auf jeder Seite bündig mit der Wand eine Marmortafel ein, welche für jede Leitung eine paraffinierte Korkdichtung besitzt.

K 1099

Abb. 15. Wanddurchführung für 2 Drähte bis 6 qmm und offene Verlegung.

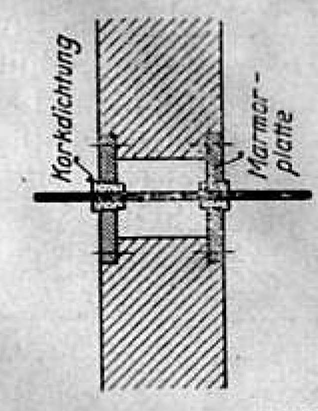


Abb. 16. K 1100
Wanddurchführung für Drähte über 6 qmm, sowie für Flachkupfer.

Eine gute Abdichtung läßt sich für Rundkupfer ferner dadurch erzielen, daß für jede Leitung eine Porzellantülle in eine Schiefer- oder Marmortafel eingesetzt und der Zwischenraum zwischen Tülle und der durchgeführten Leitung mit Glaserkitt sorgfältig ausgefüllt wird. Sehr zweckmäßig sind auch Durchführungen, die für jede Leitung auf beiden Seiten der Tafel je eine konzentrische Anschlußklemme tragen. Die beiden Klemmen jeder Leitung werden durch einen in die Tafel gut eingepaßten massiven Gewindenippel fest miteinander verschraubt. Jede Klemme erhält eine Bleiunterlagscheibe. Für Drähte von 6 mm Durchmesser sind Klemmen PL Nr 66959, von 10 mm PL Nr 66960 und von 16 mm PL Nr 66961 zu verwenden.

Schaltungen.

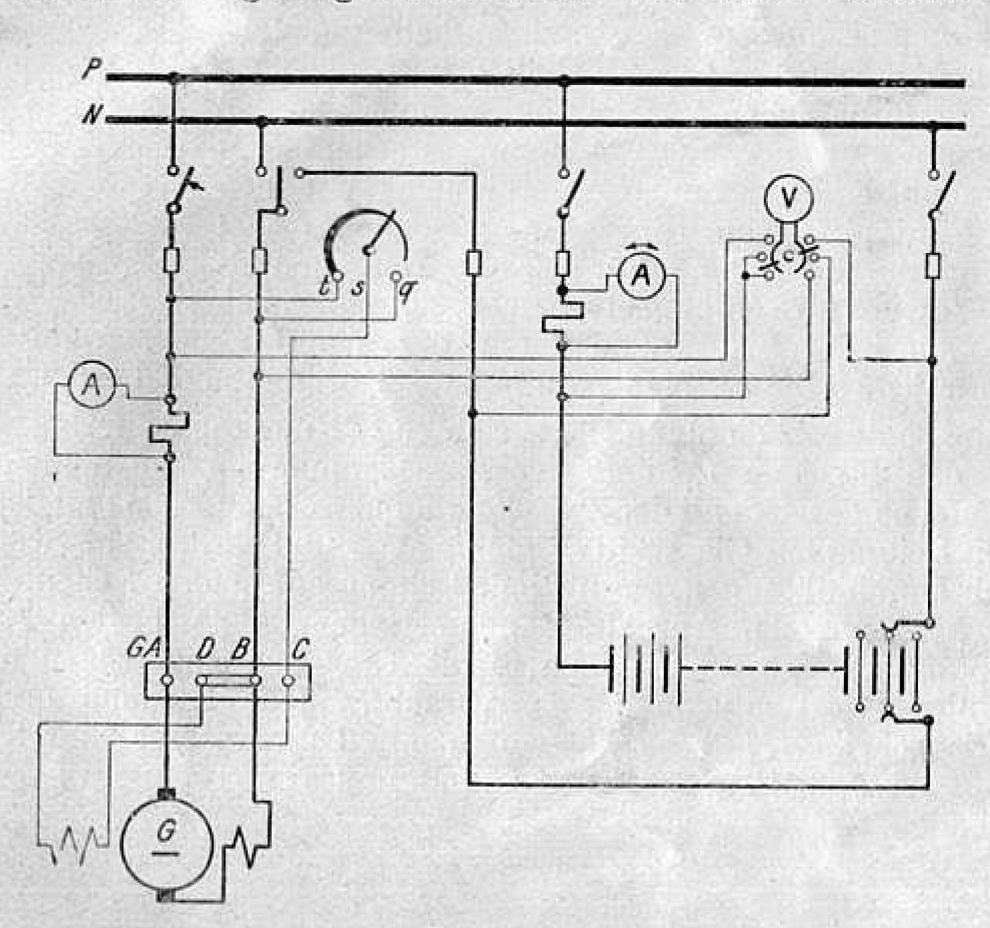
Zur Aufladung von Akkumulatoren dienen Gleichstrommaschinen, Umformer oder Gleichrichter; kleine Batterien werden häufig auch vom Netzanschluß mit Vorschaltwiderstand geladen.

Bei Lichtbatterien wird die Zellenzahl nach der Spannung am Ende der Entladung berechnet. Für 110 V. sind z. B. $\frac{110}{1,83} = 60$ Zellen nötig, für 220 V. 120 Zellen usw. Die Entladespannung wird mittels eines Zellenschalters geregelt. Da die Spannung der geladenen Zelle mit ca. 2,10 V. einsetzt, müssen bei einem 110-V.-Netz zuerst $60 - \frac{110}{2,10} = 8$ Zellen abgeschaltet sein, der Zellenschalter muß daher 9 Kontakte haben (Einfachzellenschalter). Bei einem 220-V.-Netz pflegt man zwischen 2 Kontakte des Zellenschalters 2 Zellen zu legen. Bei der Ladung werden die vorher weniger entladenen Schaltzellen nach und nach abgeschaltet.

Soll die Batterie auch während der Ladung Strom ins Netz geben, so müssen am Ende der Ladung, wenn die Zellenspannung auf 2,75 V.

gestiegen ist, bei einem 110 V.-Netz $60 - \frac{110}{2,75} = 20$ Zellen, also $^1/_3$ der Gesamtzahl, abgeschaltet sein. Der Zellenschalter muß also 21 Kontakte haben. Für die Einstellung der Ladespannung erhält er einen besonderen Hebel (oder Schlitten), er wird dadurch zu einem Doppelzellenschalter mit getrenntem Lade- und Entladehebel.

Zellenschalter-Kontakte und -Leitungen werden gespart durch Anordnung von Hilfs- oder Sparzellen, die während der Bewegung des Zellenschalters zwangläufig durch einen besonderen Schalter ab- und



Erforderlich: TWL 11205

1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
1 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
1 einpoliger Rückstrom-Ausschalter
1 einpoliger Hebelumschalter
2 einpolige Hebelschalter
5 einpolige Sicherungen (bis etwa 300 Amp.)
1 Doppelzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

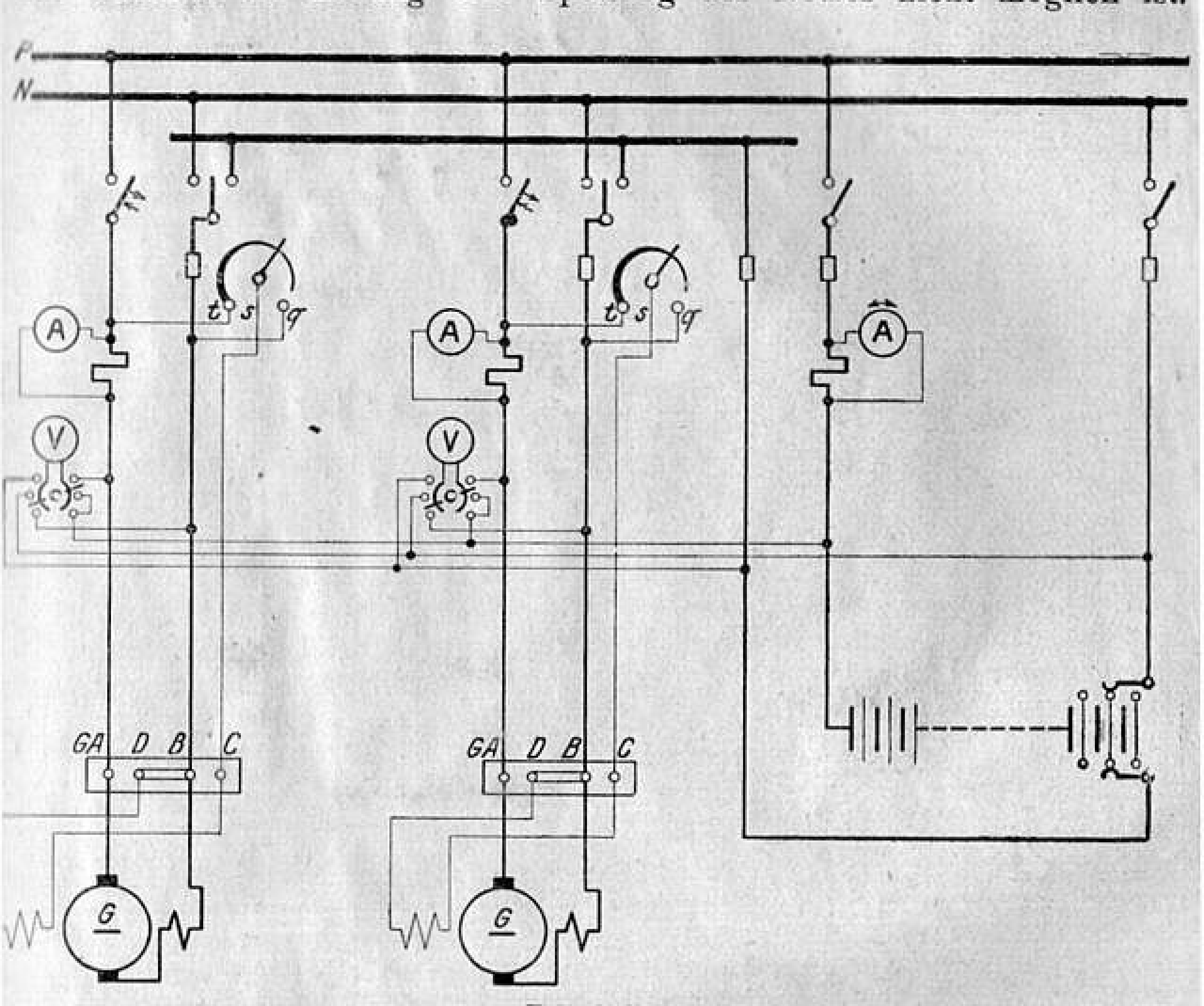
Abb. 17. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie. Ladung in einer Reihe durch Spannungssteigerung.

zugeschaltet werden. Zwischen 2 Kontakte wird die doppelte Zellenzahl gelegt und die Feinstufigkeit durch den Hilfsschalter erzielt.

Größere Zellenschalter werden mit motorischem Antrieb der Schlitten (meist nur auf der Entladeseite) für Selbst- oder Fernbetätigung ausgestattet.

Die höchste Ladespannung einer Batterie für ein 110 V.-Netz beträgt ca. 160 V., für ein 220 V.-Netz ca. 320 V., liegt also 45 % über der Netzspannung. Die Spannung der Ladestromquelle muß also entsprechend erhöht werden können. Durch Verstärkung des Feldes oder Steigerung der Drehzahl wird diese Erhöhung beim Generator selbst

erreicht. Gebräuchlicher ist jedoch, den Generator von vornherein für die höchste Ladespannung zu bauen und diese für den normalen Betrieb vermittels eines Nebenschlußreglers in Ausführung K mit besonders hohem Widerstand zu erniedrigen. Hierdurch wird die einfachste Form der Parallelschaltung von Generator und Batterie mittels eines Einfachzellenschalters ermöglicht. Diese Schaltung hat jedoch den Nachteil, daß während der Ladung eine Speisung des Netzes nicht möglich ist.



Erforderlich:

2 Gleichstrom-Nebenschluß-Generatoren
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
2 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
5 einpolige Sicherungen

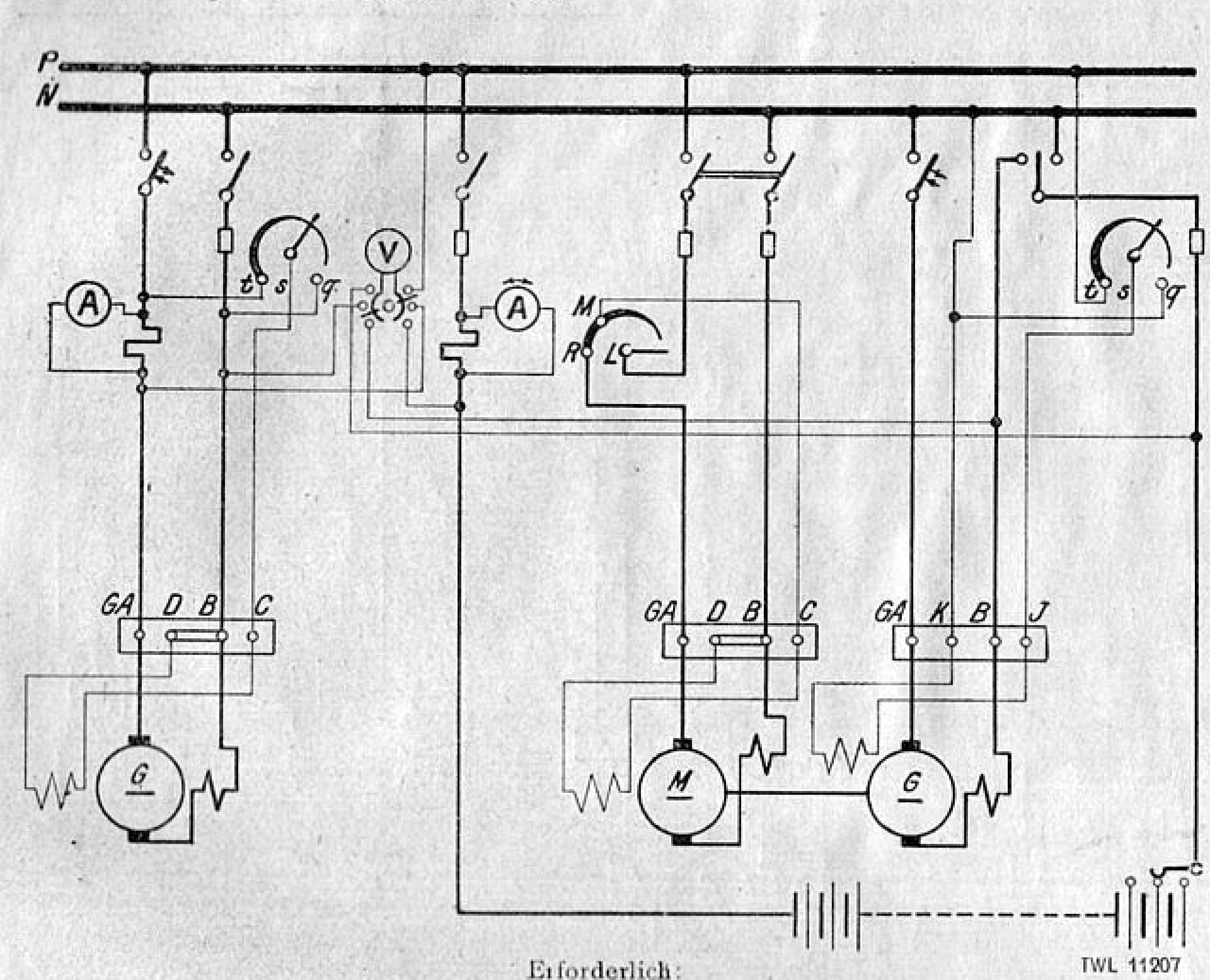
2 einpolige Ueberstrom- u. Rückstrom-Ausschalter (bis etwa 300 Amp. ersetzbar durch: 2 einpolige Rückstrom-Ausschalter und 2 einpolige Sicherungen)
2 einpolige Hebelumschalter
2 einpolige Hebelschalter
1 Doppelzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

Abb. 18. Schaltplan für 2 parallel arbeitende Gleichstrom-Zweileiter-Generatoren mit Akkumulatorenbatterie. Ladung durch Spannungssteigerung.

Die gebräuchlichste Schaltung zeigt Abb. 17, welche infolge Verwendung eines Doppelzellenschalters auch während der Ladung die Abgabe kleinerer Stromstärken und bei Verwendung von zwei Generatoren (Abb. 18) entsprechend größerer Stromstärken an das Netz gestattet.

Reicht die Generatorspannung nicht aus, um die Batterie in einer Reihe vollzuladen, oder ist die Batterie klein im Vergleich zur Maschine, so kann man eine Zusatzmaschine für die Ladung verwenden; die

Schaltung Abb. 19 ist dann so, daß die Hauptmaschine dauernd unmittelbar aufs Netz arbeitet, während die Zusatzmaschine die für die Ladung mehr erforderliche Spannung liefert. Ein Doppelzellenschalter ist nur dann erforderlich, wenn die Batterie als Momentreserve ständig an das Netz angeschlossen sein muß. Die Zusatzmaschine muß bei 110 V. Netzspannung eine Spannung von 20—50 V. liefern. In der Regel erhält sie elektromotorischen Antrieb, da sie nur stundenweise gebraucht wird und einer Veränderung der Drehzahl bedarf.



Erforderlich:

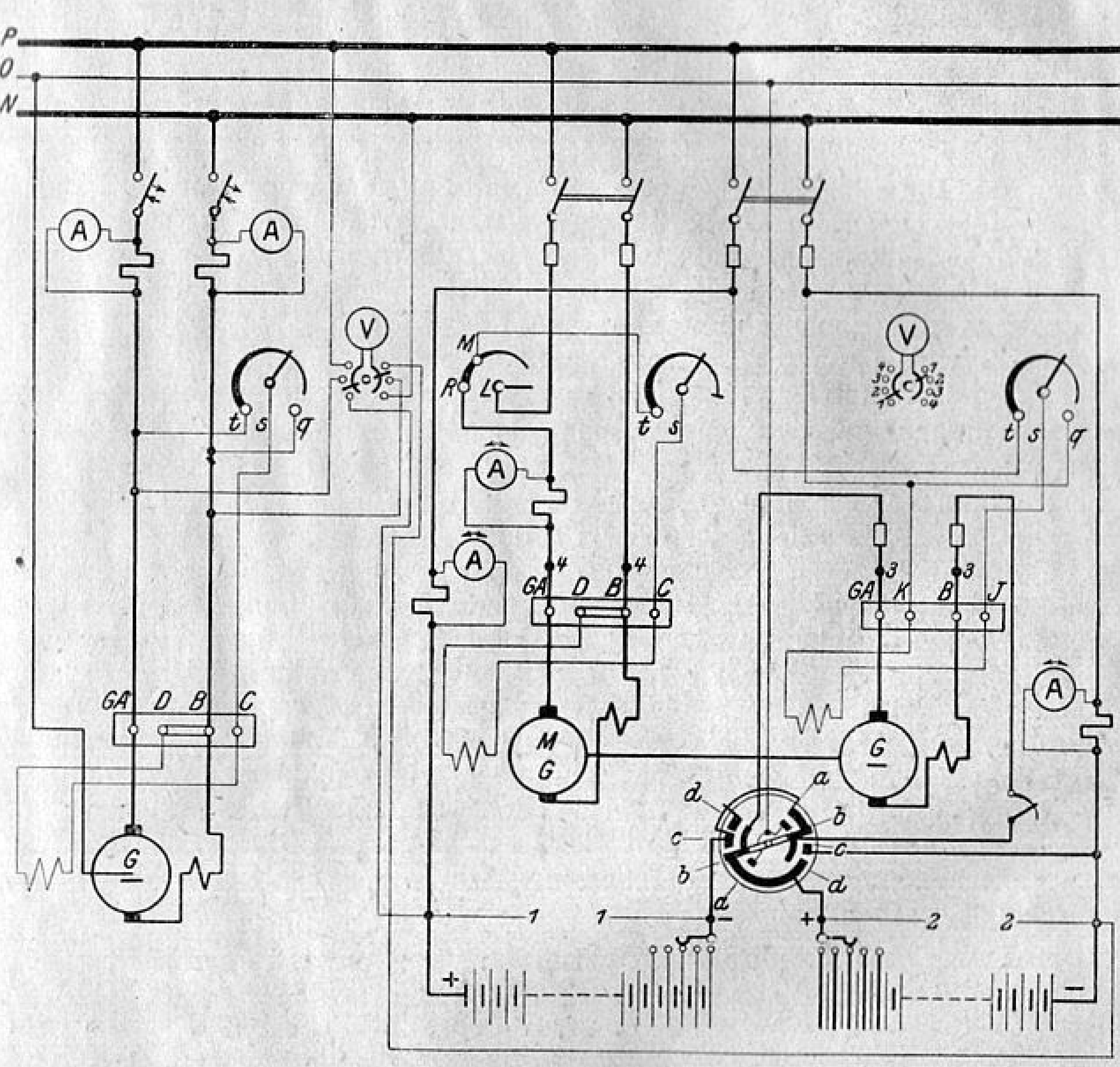
1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
1 Nebenschlußregler
1 Zusatzaggregat
1 Nebenschlußregler, Form Z, für Fremderregung
1 Anlasser
1 Spannungsmesser mit 1 Umschalter
1 Strommesser
1 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
5 einpolige Sicherungen

2 einpolige Ueberstrom- u. Rückstrom-Ausschalter (bis etwa 300 Amp. ersetzbar durch: 2 einpolige Rückstrom-Ausschalter und 2 einpolige Sicherungen)
2 einpolige Hebelschalter
1 zweipoliger Hebelschalter
1 einpoliger Hebelumschalter
1 Einfachzellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

Abb. 19. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Zweileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie. Ladung durch Zusatzaggregat.

Für Dreileiternetze finden die beschriebenen Schaltungen sinngemäße Anwendung. Die Batterie hat hier besondere Bedeutung als Spannungsteiler. Gewöhnlich wird mit Zusatzaggregaten gearbeitet, und diese werden bei der Ladung oft auch für den Ausgleich verschieden stark belasteter Netzhälften, und ferner für die Nachladung einer etwa zurückgebliebenen Batteriehälfte verwendet. Die Schaltung nach Abb. 20 gestattet sowohl die gleichzeitige Ladung beider Batteriehälften in Hinter-

einanderschaltung, als auch eine Nachladung jeder der beiden Netzhälften. Die beiden Zellenschalter können innen (am Mittelleiter) oder außen liegen. Der Anschluß innen hat den Vorteil, daß die Apparate keine hohe Spannung gegen Erde haben. Bei Anschluß von Doppelzellenschaltern an die Außenleiter werden oft die Ladehebel mit dazu benutzt, eine höhere Spannung für entferntere Speisepunkte zu erhalten.



Erforderlich:

1 Nebenschluß-Generator mit Spannungsteiler
1 Nebenschlußregler
1 Zusatzaggregat
1 Nebenschlußregler, Form Z, für Fremderregung
1 desgl., ohne Unterbrechung f. d. Spannungsregelung beim Arbeiten des Motors als Generator
1 Anlasser
2 Spannungsmesser
2 Spannungsmesser-Umschalter
2 Strommesser
3 Strommesser mit Nullpunkt in der Mitte
6 einpolige Sicherungen
1 Regelwiderstand
2 einpolige Ueberstrom- u. Rückstrom-Ausschalter elektrisch gekuppelt
2 zweipolige Hebelschalter
1 Vierfach-Umschalter, Form U IV
2 Einfach-Zellenschalter
1 Akkumulatorenbatterie

Abb. 20. Schaltplan für 1 Gleichstrom-Dreileiter-Generator mit Akkumulatorenbatterie.

Umschalterstellungen:

a) Entladung
b) Ladung durch Zusatzaggregat
c) Ladung der linken Batteriehälfte
d) Ladung der rechten Batteriehälfte.

Parallelschalten von Generatoren mit Akkumulatorenbatterien.

Für einen Parallelbetrieb mit Akkumulatorenbatterien ist der Nebenschlußgenerator infolge seiner einfachen Bedienung und Spannungsregelung die geeignetste und daher am meisten verwendete Stromerzeugungsmaschine. Die Batterie hat die Aufgabe, Spannungsschwankungen des Generators, welche infolge ungleichmäßiger Belastung der Antriebsmaschine auftreten, aufzunehmen und eine gleichmäßige Netzspannung zu gewährleisten. Ferner hat sie die Stromlieferung an das Netz während des Stillstandes der Maschine, wenn also nur ein geringer Energiebedarf vorliegt, zu übernehmen.

Das Parallelschalten einer Batterie mit einem auf die Sammelschienen arbeitenden Generator erfolgt, indem die Batteriespannung durch Verstellen des Zellenschalters auf gleiche Höhe mit der Sammelschienenspannung gebracht und dann der Batterieschalthebel eingeschaltet wird. Durch Verstellen des Nebenschlußreglers und gegebenenfalls auch des Zellenschalters wird dann die Lastverteilung vorgenommen. Man wird zweckmäßig die Batterie wenig belasten, damit sie beim Stillsetzen des Generators in möglichst geladenem Zustande die Stromlieferung übernehmen kann.

Die Doppelschlußgeneratoren werden für einen Parallelbetrieb mit Akkumulatorenbatterien wenig verwendet. Sie müssen, falls sie zur Ladung von Batterien benutzt werden sollen, eine abschaltbare Reihenschlußwicklung erhalten, damit die Klemmenspannung nicht mehr durch den Hauptstrom beeinflußt wird, sondern die erforderliche Spannungssteigerung lediglich durch den Nebenschlußregler erfolgen kann. Das bedingt aber für den Generator insofern eine Sonderausführung, als die Nebenschlußwicklung bei abgeschalteter Reihenschlußwicklung allein imstande sein muß, das für die normale Klemmenspannung erforderliche magnetische Feld zu erzeugen. Während der Ladung muß die Reihenschlußwicklung eines mit der Batterie etwa parallelarbeitenden zweiten Generators von der Ausgleichsschiene abgeschaltet werden.

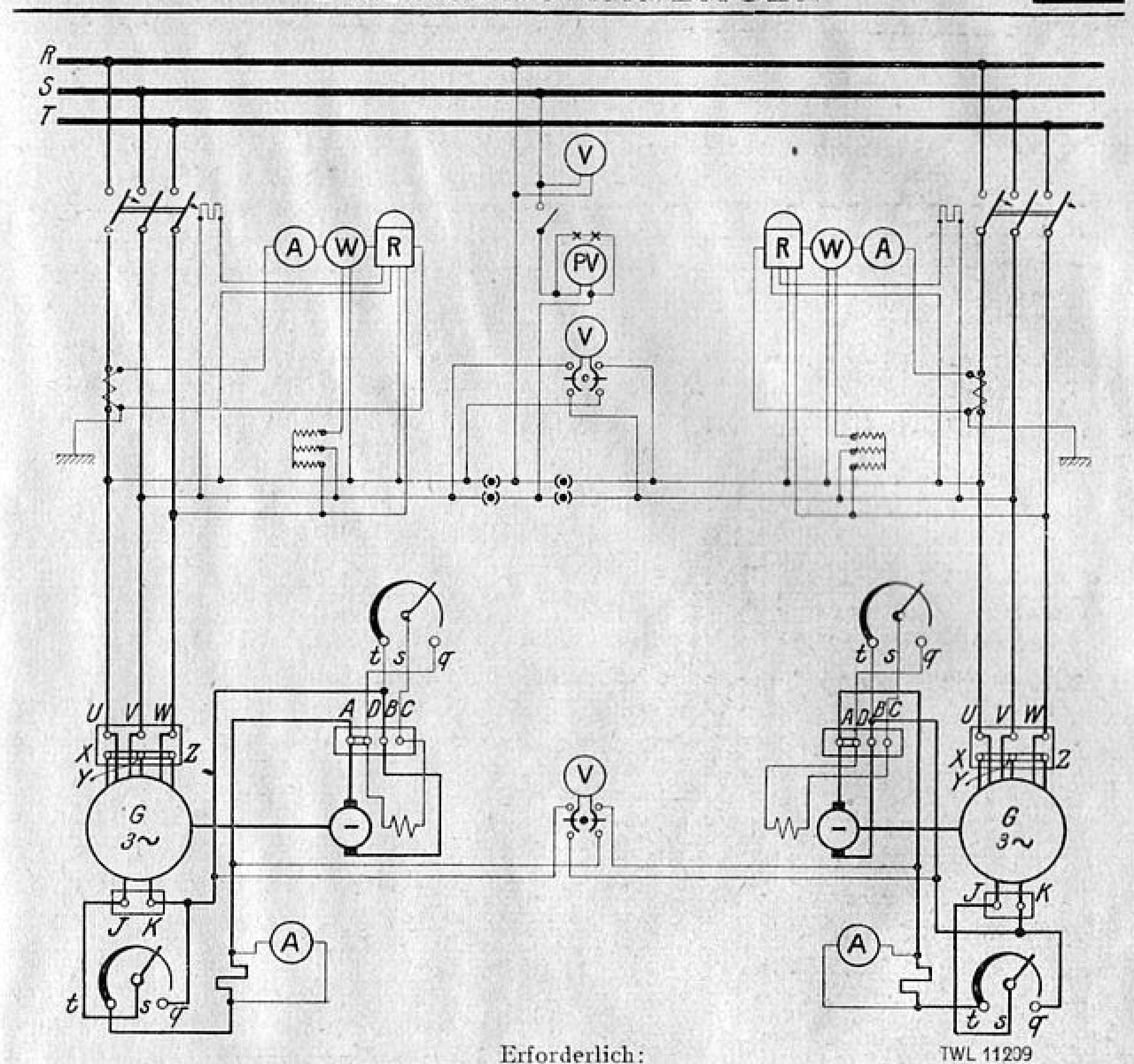
Ueber das Parallelschalten von Nebenschluß- und Doppelschlußgeneratoren siehe unter Gleichstromanlagen ohne Akkumulatorenbatterie.

III. Drehstromanlagen.

Schaltungen.

Drehstrom kommt besonders für große Leistungen und überall dort zur Anwendung, wo es sich um die Uebertragung von elektrischer Energie auf große Entfernungen handelt.

Für die Erzeugung von Drehstrom werden Generatoren benutzt, bei denen im Gegensatz zu den Gleichstrommaschinen der den Drehstrom erzeugende Anker feststeht, während das Magnetfeld in demselben rotiert. Der Erregerstrom kann einer fremden Gleichstromquelle entnommen werden; er wird jedoch gewöhnlich von einer mit dem Generator direkt gekuppelten Erregermaschine erzeugt und dem Magnetfeld durch zwei Schleifringe zugeführt. Zur Spannungsregelung dient



Erforderlich:

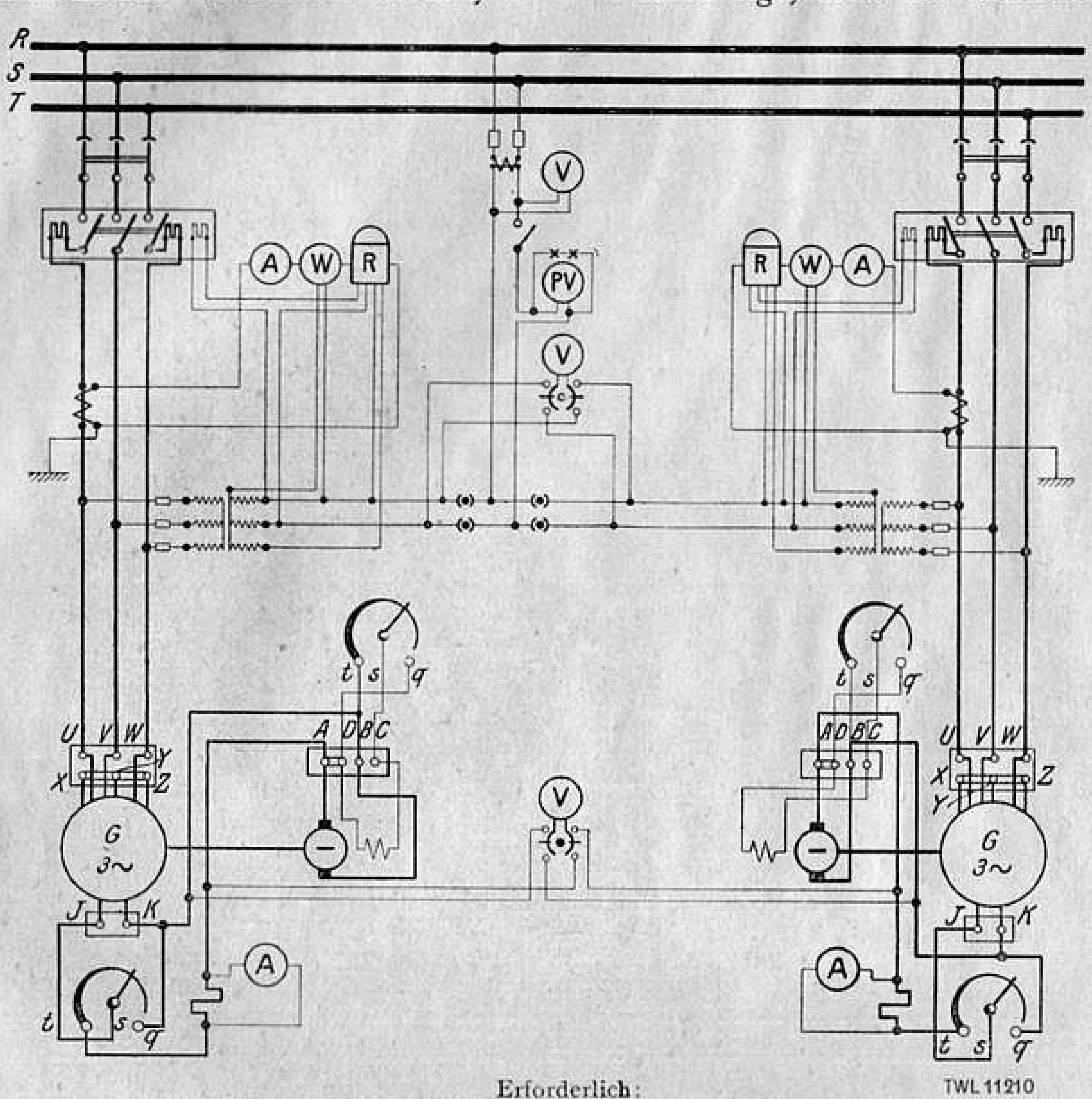
2 Synchrongeneratoren
2 Magnetregler
2 Erregermaschinen
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
1 Phasenvoltmeter m. anmont. Phasenlampen
2 Strommesser
2 Leistungsmesser (bei ungleich belasteten Phasen sind Leistungsmesser für „beliebig" belastete Phasen und ein zweiter Stromwandler erforderlich)
2 Nullpunktwiderstände
2 Rückstromrelais Nr. 69006 mit Ruhekontakten (über 110 Volt sind Spannungswandler notwendig)
2 Stromwandler
2 zweipolige Steckkontakte mit 1 Stecker
1 einpoliger Schalter, 6 Amp.
2 dreipolige Ueberstromschalter, Form C
1 Spannungsmesser für die Erregung
1 Spannungsmesser-Umschalter für die Erregung
2 Strommesser für die Erregung

Abb. 21. Parallelarbeitende Drehstrom-Synchron-Generatoren für Niederspannung.

außer dem Nebenschlußregler der Erregermaschine noch ein besonderer Magnetregler, durch welchen der Erregerstrom des Drehstromgenerators eingestellt wird. Als Erregerspannung wird gewöhnlich 110 Volt, in manchen Fällen auch 220 Volt gewählt.

Die Schaltung von zwei parallelarbeitenden Drehstromgeneratoren für Niederspannung zeigt Abb. 21 und für Hochspannung Abb. 22. Der Unterschied zwischen beiden Schaltungen besteht darin, daß bei Hochspannung die Instrumente nur unter Verwendung von Strom- und Spannungswandlern angeschlossen werden dürfen, um die Hochspannung von den Instrumenten fernzuhalten. Außerdem sind für die Generatoren statt der Niederspannungsschalter Trenn- und Oelschalter für Hochspannung erforderlich.

Bei der Verlegung der Maschinenleitungen ist zu beachten, daß nur phasengleiche Leitungen der Maschinen durch die Sammelschienen miteinander verbunden werden, da die Phasenfolge, d. h. der elektrische

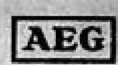


Erforderlich:

2 Synchrongeneratoren
2 Magnetregler
2 Erregermaschinen
2 Nebenschlußregler
2 Spannungsmesser
1 Spannungsmesser-Umschalter
1 Phasenvoltmeter mit anmont. Phasenlampen
2 Strommesser
2 Leistungsmesser (bei ungleich belasteten Phasen sind Leistungsmesser für „beliebig" belastete Phasen und ein zweiter Stromwandler erforderlich)
2 Rückstromrelais Nr.69006 m. Ruhekontakten
1 einphas. Spannungswandler m. anmont. Sicherungen
2 dreiphas. Spannungswandler m. anmont. Sicherungen
2 Stromwandler
2 Oelschalter mit direkter Ueberstrom-Auslösung
2 aufgebaute Nullspannungs-Magnete
2 dreipolige Trennschalter
2 zweipolige Steckkontakte mit 1 Stecker
1 einpoliger Schalter. 6 Amp.
1 Spannungsmesser für die Erregung
1 Spannungsmesser-Umschalter für die Erregung
2 Strommesser für die Erregung

Abb. 22. Parallelarbeitende Drehstrom-Synchron-Generatoren für Hochspannung

Drehsinn sämtlicher parallelarbeitenden Maschinen, gleich sein muß. Vor der ersten Inbetriebsetzung ist daher die Schaltung mit einem Drehfeldrichtungsanzeiger oder in der Weise zu prüfen, daß man die Maschinen einzeln auf die Sammelschienen schaltet und jeweils einen kleinen Drehstrommotor anlaufen läßt. Bei gleicher Phasenfolge läuft dann der Motor stets im gleichen Drehsinn.



Parallelschalten von Drehstromgeneratoren.

Das Parallelschalten von Generatoren ist bei Drehstrom nicht auf so einfache Weise möglich wie bei Gleichstrom. Wegen der Möglichkeit des Außertrittfallens wird man tunlichst nur gleich gebaute Maschinen parallel arbeiten lassen. Für jeden Generator ist eine besondere Antriebsmaschine erforderlich, da nur dann die Erfüllung der für das Parallelschalten notwendigen Bedingungen und eine Verteilung der Belastung auf die einzelnen Generatoren möglich ist. Die Bedingungen für das Parallelschalten sind:

gleiche Spannung
gleiche Periodenzahl oder Frequenz
Phasengleichheit.

Erst wenn alle drei Forderungen gleichzeitig erfüllt sind, laufen die Maschinen synchron und können parallel geschaltet werden.

Die Spannungen werden zweckmäßig nur mit einem Spannungsmesser verglichen, um Differenzen in den Angaben, welche bei Verwendung von zwei Instrumenten auftreten können, zu vermeiden. Der Spannungsmesser muß daher einen zweipoligen Umschalter erhalten, wie in Abb. 21 angegeben.

Zum Vergleich der Frequenz dient der Frequenzmesser, welcher als Doppelfrequenzmesser mit je einem Meßsystem an die Spannung der Sammelschienen und des zuzuschaltenden Generators angelegt wird. Die Phasengleichheit wird durch das Phasenvoltmeter PV, welches zwei aufmontierte, ihm parallel geschaltete Glühlampen (Phasenlampen) besitzt und für die doppelte Maschinenspannung bemessen sein muß, beobachtet. Gleiche Frequenz wird erreicht durch richtige Einstellung der Drehzahl. Auch die Phasengleichheit muß durch Aenderung der Drehzahl herbeigeführt werden. Solange Phasengleichheit nicht erreicht ist, schwankt der Zeiger des Phasenvoltmeters zwischen Null und dem Höchstwert hin und her. Gleichzeitig leuchten die Lampen bis zu ihrer vollen Leuchtkraft auf und verlöschen wieder. Diese periodischen Schwankungen werden um so langsamer, je mehr sich die Maschinen dem Synchronismus nähern. Laufen sie genau gleichmäßig, so zeigt das Phasenvoltmeter auf Null und die beiden Lampen sind verloschen. In diesem Moment muß der Hebelschalter der zuzuschaltenden Maschine eingeschaltet werden, vorausgesetzt, daß die Spannungen noch genau gleich sind.

Wie aus vorstehendem hervorgeht, ist zur Parallelschaltung von Drehstromgeneratoren eine Regelung der Drehzahl der Antriebsmaschine erforderlich, und zwar am zweckmäßigsten von der Schalttafel aus. Eine solche elektrische Drehzahlverstellvorrichtung besteht aus einem kleinen Elektromotor, welcher vermittels eines Vorgeleges auf die Einstellspindel des Reglers der Antriebsmaschine wirkt. Er wird geschaltet durch einen kleinen Umschalter, welcher auf der Schalttafel montiert ist und selbsttätig in die Ausschaltstellung zurückkehrt, wenn der Schaltgriff losgelassen wird.

Die oben geschilderte Art der Parallelschaltung wird heute fast allgemein angewandt und wird, da die Maschine zugeschaltet wird, wenn die beiden Phasenlampen nicht leuchten, die Dunkelschaltung genannt. Bei der Ausführung dieser Synchronisierschaltung ist zu beachten, daß gleiche Phasen der Maschinen mit gleichen Sammelschienen verbunden werden. In eine dieser Verbindungsleitungen wird das Phasenvoltmeter

geschaltet. In Abb. 21 sind z. B. die Sammelschienen R und S mit der gleichen Phase U bzw. V der Maschinen über je eine zweipolige Steckvorrichtung verbunden. In der Leitung, welche die Sammelschiene S mit den gleichen Phasen V der Maschinen verbindet, liegt das Phasenvoltmeter PV. Bei Zuschaltung einer Maschine ist der zweipolige Stecker in die betreffende Steckvorrichtung zu stecken. Der außerdem vor das Phasenvoltmeter geschaltete einpolige Schalter dient zum Ausschalten desselben nach erfolgter Parallelschaltung. Die Synchronisierschaltung kann man für den zuzuschaltenden Generator dadurch nachprüfen, daß die drei Leitungen von seinen Klemmen U V W abgeklemmt werden, der dreipolige Schalter eingeschaltet und der Stecker in die Steckvorrichtung dieses Generators gesteckt wird.. Beim Einschalten des einpoligen Schalters darf dann weder das Phasenvoltmeter ausschlagen, noch dürfen die Phasenlampen leuchten.

In Hochspannungsanlagen, Abb. 22, ist die Schaltung genau die gleiche, nur werden hierbei sowohl von den Sammelschienen als auch von der Maschine aus Spannungswandler zwischengeschaltet.

Für ein gutes Parallelarbeiten von Drehstrom-Generatoren ist ferner der Ungleichförmigkeitsgrad, welcher die Ungleichmäßigkeit der Drehgeschwindigkeit während einer Umdrehung ausdrückt, von Bedeutung. Er ist stets vom Hersteller der Antriebsmaschine einzufordern.

Bei Antriebsmaschinen mit innerhalb einer Wellenumdrehung gleichbleibendem Drehmoment, wie bei Dampf-, Gas- und Wasserturbinen usw., ist der Ungleichförmigkeitsgrad unendlich klein. Werden Schwungmassen benötigt, wie z. B. bei Wasserturbinen zur Erfüllung der Regelungsbedingungen, so müssen diese stets vom Hersteller der Turbinen ermittelt werden, wobei auf den elektrischen Betrieb keine Rücksicht zu nehmen ist. Der Parallelbetrieb bereitet bei den aufgezählten Maschinengattungen keinerlei Schwierigkeiten.

Sämtliche Kolbenmaschinen, wie Dampfmaschinen, Gas- und Dieselmotoren usw., haben dagegen innerhalb einer Wellenumdrehung ein wechselndes Drehmoment und erfordern deshalb für den ruhigen Lauf ein Schwungrad. Je größer die Schwungmassen dieses Rades sind, um so gleichförmiger wird auch der Gang sein, um so kleiner ist der Ungleichförmigkeitsgrad, der als Maß für den Gang einer solchen Maschine gilt. Er soll auch für den Einzellauf nicht zu groß gewählt werden, um ruhiges, d. h. nicht flackerndes Licht zu erhalten.

Drehstromgeneratoren verhalten sich im Parallelbetrieb anders als Gleichstrom-Generatoren; hier ist der Ungleichförmigkeitsgrad nicht mehr allein von ausschlaggebender Bedeutung. Einerseits ist durch Resonanzwirkung der wirkliche Ungleichförmigkeitsgrad der parallel geschalteten Wechselstrom-Generatoren stets schlechter als im Einzellauf, andererseits dürfen keine Schwungmomente Anwendung finden, die in Resonanznähe liegen wegen der damit verbundenen Gefahr des Pendelns und Außertrittfallens. Bei Riemenantrieb wird die Ungleichmäßigkeit des Ganges teilweise durch den Riemen ausgeglichen, bei direkter Kupplung dagegen in voller Höhe auf den Generator übertragen.

Die erforderlichen Untersuchungen sind verhältnismäßig einfach bei gleichartigen Maschinen, dagegen recht umständlich bei ungleichartigen Antriebsmaschinen verschiedener Drehzahlen, und sollten daher stets erfahrenen Fachingenieuren überlassen werden.

Lastverteilung bei Drehstromgeneratoren.

Nachdem die Maschinen parallelgeschaltet sind, ist die Lastverteilung vorzunehmen. Während bei Gleichstrom die Uebernahme der Last nur durch Verstärkung der Erregung, also Erhöhung der Spannung, erfolgt und das dadurch bedingte Abfallen der Drehzahl durch den Regler der Antriebsmaschine unter Vergrößerung der Dampf- oder Brennstoffzufuhr selbstätig wieder ausgeglichen wird, ist bei Drehstrom auch diese Regelung von Hand vorzunehmen.

Eine Verstärkung der Erregung vermittels des Magnet- oder des Nebenschlußreglers hat zunächst nur einen Ausgleichsstrom zur Folge, welcher in die schon belasteten Maschinen geschickt und vom Strommesser angezeigt wird. Da derselbe größtenteils wattlos ist, wird der Leistungsmesser des zugeschalteten Generators nur sehr wenig ausschlagen. Ein Drehzahlabfall und ein selbsttätiger Ausgleich durch den Regler der Antriebsmaschine tritt daher nicht ein; außerdem wird der Generator durch die schon belasteten Maschinen im Tritt gehalten. Die Vermehrung der Dampf- oder Brennstoffzufuhr zwecks Uebernahme von Last ist also durch Betätigung des Umschalters der Drehzahlverstellvorrichtung zu bewirken. Dadurch steigt der Leistungsmesser, während derjenige der schon belasteten Maschinen um die gleiche Leistung fällt. Ebenso fällt auch der Strommesser, da der Ausgleichsstrom um einen entsprechenden Prozentsatz verringert wurde. Man hat also die Lastverteilung nur durch die Veränderung der Drehzahl in der Hand. Es ist demnach nicht möglich, zwei Drehstromgeneratoren durch Riemen von einer und derselben Transmission oder von je einem Schwungrad einer Lokomobile antreiben zu lassen. Hier würde schließlich die Riemenspannung, also der Riemenrutsch, das einzig veränderliche Glied sein, was zu einem ordnungsgemäßen Betrieb nicht genügen würde.

Um die störenden Ausgleichsströme zwischen den Maschinen zu vermeiden, muß die Erregung und Kraftmaschinenregelung im richtigen Verhältnis zueinander stehen. Ist dies der Fall, so zeigen die Strommesser zusammen die geringste Stromstärke an, welche dem jeweiligen Leistungsfaktor des Netzes entspricht, was durch Verstellen des Magnet- oder Nebenschlußreglers nach der einen und anderen Richtung nachgeprüft werden kann. Da durch die Veränderung in beiden Richtungen ein Ausgleichsstrom erzeugt wird, muß also auch in beiden Fällen ein Steigen des Strommessers stattfinden. Der Magnetregler oder der Nebenschlußregler der Erregermaschine ist also stets auf den geringsten Ausschlag des Strommessers einzustellen. Die Steigerung der Spannung und der Dampf- oder Brennstoffzufuhr wird nun so lange wiederholt, bis der Generator die gewünschte Leistung von den anderen übernommen hat.

Gleichzeitig mit dieser Regelung des zugeschalteten Generators ist die Spannung und Dampf- oder Brennstoffzufuhr der bereits in Betrieb gewesenen zu vermindern, da anderenfalls eine Erhöhung der Netzspannung eintreten würde.

Das Entlasten eines Generators erfolgt dadurch, daß die Erregung und die Kraftzufuhr vermindert und die der anderen Generatoren entsprechend verstärkt werden, bis letztere die Gesamtlast übernommen haben. Der Selbstschalter schaltet dann beim Stande des Strom- und Leistungsmessers auf annähernd Null selbsttätig aus oder wird von Hand ausgeschaltet.

IV. Aufstellung von Generatoren.

Fundamente.

Die Aufstellung der Generatoren erfolgt in der Regel auf gemauerten Fundamenten, für welche verbindliche Zeichnungen von dem Hersteller der Maschine beigestellt werden, die unbedingt zugrunde gelegt werden müssen. Wenn auch freie Kräfte wie bei Dampfmaschinen oder Explosionsmotoren, die eine gewisse Masse des Fundamentblockes erforderlich machen, bei elektrischen Maschinen nicht auftreten, verlangt doch schon das Gewicht einer Maschine, die Fläche der Grundplatte oder die Verbindung mit Außenlagern einen festen Fundamentblock, der auch in der Tiefe auf tragfähigen Grund hinabgehen muß. Bei Riemenantrieb muß auch der Riemenzug durch das Fundament aufgenommen werden.

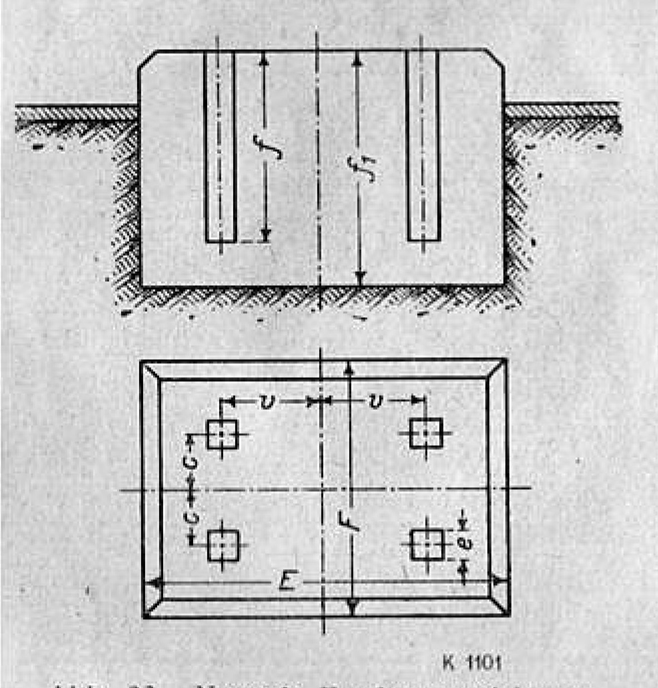


Abb. 23 Normale Fundamentzeichnung

In Fundamentzeichnungen, siehe Abb. 23, sind die Maße E und F für die horizontale Fläche des Fundamentes, die Lage und Größe der Löcher für die Fundamentbolzen sowie das Maß f für die Tiefe dieser Löcher zahlenmäßig angegeben. Das Maß f_1 für die gesamte Höhe ist dagegen nicht aufgeführt, da dieses den jeweiligen Bodenverhältnissen entsprechend verschieden ist. Für dieses Maß ist einerseits zu beachten, daß das Fundament möglichst auf gewachsenen, d. h. nicht aufgefüllten Boden, gesetzt wird, um einen festen Stand zu gewährleisten. Andererseits ist das Fundament etwa 20 bis 25 cm über Flur aufzuführen, damit beim Reinigen des Flures die Maschine gegen Spritzwasser und Beschädigungen geschützt ist. Für diese Erhöhung sind außerdem die örtlichen Verhältnisse, wie z. B. Lage zur Transmission oder Arbeitsmaschine, oder Höhenunterschiede des Flures zu berücksichtigen. Als Anhalt diene, daß bei gewachsenem Boden erst 2 bis 3 Steinschichten und bei aufgefülltem Boden 6 bis 10 Steinschichten gemauert werden, bevor man die Aussparungen für die Fundamentbolzen vorsieht.

Die Herstellung der Fundamente erfolgt im allgemeinen aus Klinkern in Zementmörtel oder aus Stampfbeton.

Das Eigengewicht der Fundamente beträgt für

1 cbm aus Normalziegelsteinen ca. 1600 kg
1 cbm aus Klinkern in Zementmörtel ca. 1800 kg
1 cbm aus Stampfbeton ca. 1800—2000 kg

Ziegelfundamente.

Bei einem Ziegelfundament sind für 1 cbm ohne Oeffnungen etwa 385 bis 390 hartgebrannte Normalziegelsteine von 25 × 12 × 6,5 cm, sowie 0,27 bis 0,28 cbm Mörtel erforderlich. Hierbei sind auf 1 m Höhe 13 Schichten und die Fuge mit 1,2 cm Stärke gerechnet. Als Mörtel ist eine Mischung aus 1 Teil Portlandzement und 3 Teilen körnigem, nicht lehmhaltigem Sand zu verwenden. Die Ziegelsteine müssen vor dem Vermauern gut mit Wasser getränkt werden. Für das Abbinden des Fundamentes sind mindestens 5 Tage zu rechnen.

Betonfundamente.

Bei Betonfundamenten hat man gute Erfahrungen mit Beton, bestehend aus 1 Teil Portlandzement, 2 Teilen Quarzsand und 4 Teilen Kies, gemacht, welche erst trocken, dann unter Beigabe von Wasser gemischt werden. Der Beton wird in die aus einer Bretterverschalung bestehende Fundamentumrahmung, in der auch die Löcher für die Fundamentbolzen durch runde oder quadratische Hölzer vorgesehen sind, schichtweise eingestampft. Die Herstellung muß durch geübte Leute und sorgfältig erfolgen. Diese Fundamente müssen etwa 14 Tage abbinden, bevor mit der Montage begonnen werden darf, während die Inbetriebsetzung der Maschine erst etwa 4 Wochen nach Fertigstellung erfolgen soll.

Provisorische Fundamente.

Diese Fundamente werden aus hartgebrannten oder auch aus normalen Ziegelsteinen hergestellt. Da hier gewöhnlich die für das Abbinden normaler Fundamente erforderliche Zeit fehlt, wird der Mörtel mit Gips oder Metallzement vermengt. Sowohl Gips als auch Metallzement erhärten sehr schnell. Letzterer kann auch bei Frost verwendet werden und schwindet nicht beim Erkalten.

Vergießen von Maschinen.

Das Vergießen einer Maschine darf erst erfolgen, nachdem diese genau ausgerichtet worden ist. (Näheres über das Ausrichten siehe unter Aufstellung von Motoren.) Sowohl die Schraubenlöcher sind auszugießen als auch die Fundamentplatte oder die Stellschienen sind gut zu untergießen. Die Platte oder die Schienen werden zu diesem Zweck mit einer Lehmwulst oder dergl. umgeben. Für das Vergießen wird flüssiger Zementmörtel, bestehend aus 1 Teil Portlandzement und 1 Teil gewaschenen oder fein gesiebten Sand, verwendet. Das Anziehen der Fundamentschrauben darf erst nach vollständiger Erhärtung des Fundamentes, nach etwa 14 Tagen, vorgenommen werden. Andernfalls liegt, besonders bei Aggregaten mit gemeinsamer Grundplatte, die Gefahr des Verspannens vor, da dann einzelne Fundamentschrauben leicht zu stark angezogen werden könnten.

Fundamentisolierung gegen Erschütterungen und Geräusche.

Bei jeder Maschine, die in der Nähe von Wohn- oder Büroräumen aufgestellt wird, ist die Frage zu erwägen, ob störende Geräusche oder

Erschütterungen zu befürchten sind. Vorbeugende Maßnahmen sind im allgemeinen hierbei wesentlich ökonomischer als nachträgliche Aenderungen, die selten ohne Betriebsstörung ausführbar sind.

In erster Linie ist festzustellen, ob die Uebertragung durch Luftschall oder Bodenschall oder auf beiden Wegen stattfindet und auf welchem die eigentliche Störung zu erwarten ist.

Luftschall, bei dem der Träger der Schallschwingungen vom Entstehungsort zum Ohr lediglich die Luft ist, kommt nur dort in Frage, wo das Geräusch im Raum, in dem die Maschine steht, selbst stört, wie etwa beim Röntgenapparat im Zimmer eines Arztes oder da, wo es sich durch Oeffnungen (Türen, Fenster, Rauchrohre u. dergl.) übertragen kann.

Schutz bieten hier möglichst luftdichter Abschluß, gut abgedichtete Doppelfenster, eiserne Türen (hölzerne werfen sich fast immer).

Unbrauchbar sind Polster aus Filz, Kork oder dergl., Doppelwände mit Torffüllung, Materialien, die wegen ihrer Porosität Luftschall fast ungehindert hindurchlassen.

Eine einen Stein starke Mauer ohne Oeffnungen verhindert die Uebertragung jeden noch so starken Luftschalls.

Bei **Bodenschall** ist der Träger der Schallschwingungen das Fundament bzw. die Decke, auf der die Maschine steht, das angrenzende Mauerwerk und der Erdboden. Da die Schwingungszahl unverändert ist, ist die Tonhöhe die gleiche wie beim Luftschall, mit dem der Bodenschall häufig verwechselt wird. In den meisten Fällen findet die Uebertragung durch Bodenschall statt.

Schutz bieten Trennung des Maschinenfundaments vom umgebenden Mauerwerk durch einen ringsherum gehenden Luftspalt und elastische Aufnahme der Schwingungen auf der Fundamentsohle durch eine dauernd elastische Isolierschicht (Abb. 24). Treten in seitlicher Richtung Kräfte auf, wie z. B. bei Riemenantrieb, so ist der Luftspalt auf der Druckseite ebenfalls durch eine Isolierschicht auszufüllen, damit diese seitlichen Kräfte aufgenommen werden.

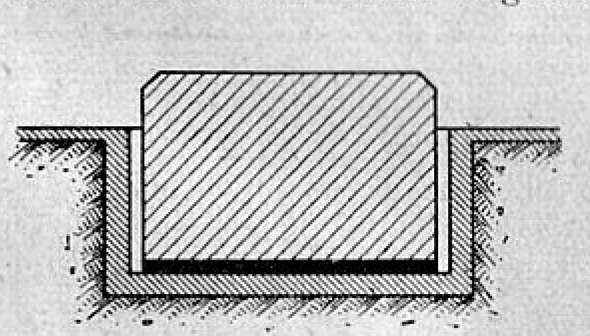
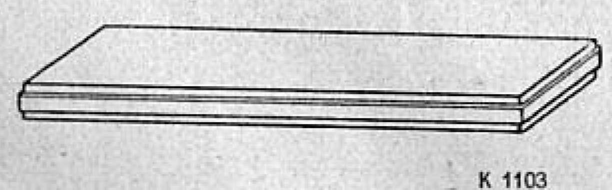


Abb. 24. Mit eisenarmiertem Naturkork isoliertes Fundament. K 1102

Ungeeignet für diese Isolierungen sind Filz, Korkstein, Gummi, da diese Materialien entweder von vornherein zu unelastisch sind oder nach kurzer Zeit verhärten.



K 1103
Abb. 25. Eisenarmierter Naturkork.

Brauchbar sind Platten aus **Naturkork,** möglichst nicht unter 6 cm Stärke (Abb. 25) in gegen Rost geschützten Eisenrahmen. Nicht jeder Kork eignet sich hierfür. Durch eine Imprägnierung kann der Kork eine große Dauerhaftigkeit erhalten.

Bei Fundamenten für große Kraftmaschinen, Dieselmotoren, Umformer, Aufzüge usw., bei welchen die auftretenden Beanspruchungen selten 2 kg pro qcm übersteigen, sind derartige Platten zu empfehlen.

Technisch vollkommener noch ist die Isolierung durch **Schwingungsdämpfer.** Diese bestehen, wie aus Abb. 26 hervorgeht, aus einem Gehäuse (a), in dem sich die Schwingplatte (b) befindet, die ihrerseits mit der zu isolierenden Maschine verschraubt wird. Diese Schwingplatte ist gegenüber dem Gehäuse allseitig elastisch gelagert, wobei durch Verbindungen von Spiralfedern mit elastischen Stoffen von hoher innerer Reibung jede Schwingung, auch die nach oben wirkenden Reaktionen und seitlichen Komponenten, aperiodisch gedämpft werden.

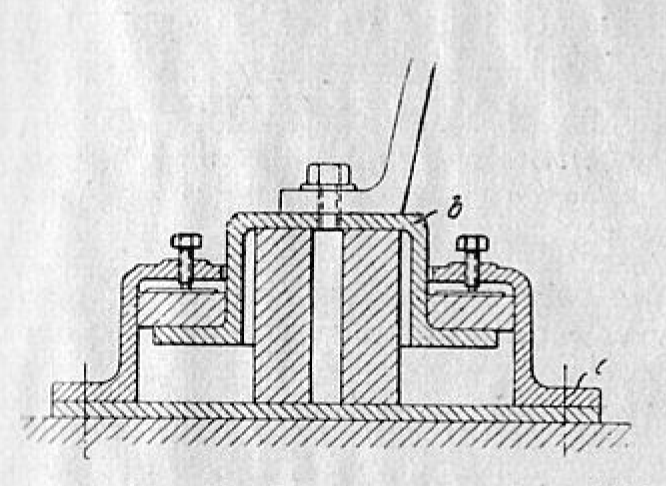


Abb. 26. Schwingungsdämpfer. K 1104

Die Schwingungsdämpfer werden je nach der Größe, Richtung und Art der auftretenden Beanspruchungen in verschiedenen Ausführungsformen und Größen hergestellt. Sie können auch nachträglich bei vorhandenen Anlagen eingebaut werden und bedürfen keiner Wartung.

Der Antrieb durch Kraftmaschinen.

Allgemeines.

Bestimmung der Leistung. Wird von der Antriebsmaschine ausgegangen, deren Leistung N in PSe bekannt ist, und bedeutet η den Wirkungsgrad des Generators, so ist die Leistung des Generators in Kilowatt an seinen Klemmen

$$\text{kW} = N \cdot \eta \cdot 0{,}735.$$

Bei Dreh- oder Wechselstrom ist noch der Leistungsfaktor ($\cos \varphi$) zu berücksichtigen. Bei Erweiterung bestehender Anlagen ist der Leistungsfaktor bekannt, bei Neuanlagen kann er auf Grund von Erfahrungen in ähnlichen Betrieben mit genügender Sicherheit geschätzt werden. Für die Größenbestimmung der Drehstrom- bzw. Wechselstrom-Generatoren ist demnach:

$$\text{kVA} = \frac{N \cdot \eta \cdot 0{,}735}{\cos \varphi} \quad \text{bei } \cos \varphi = 0{,}8 \text{ wird} \quad \text{kVA} = \frac{N \cdot \eta \cdot 0{,}735}{0{,}8}$$

$$\text{kVA} = N \cdot \eta \cdot 0{,}92$$

Die verschiedenen Arten von Kraftmaschinen verhalten sich hinsichtlich ihrer Überlastungsfähigkeit sehr verschieden, während sie für die Generatoren durch die Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen (REM) des VDE. genau festgelegt ist.

Dampfturbinen werden in der Regel unmittelbar mit Drehstromgeneratoren gekuppelt. Die gebäuchlichste Drehzahl für mittlere Leistungen und 50 Perioden ist 3000 in der Minute. Kleine Einheiten bis etwa 1250 kVA

erhalten ein Vorgelege zwischen Turbine und Generator, um die wirtschaftlich höher liegenden Drehzahlen der Turbine ausnutzen zu können. Das Vorgelege findet auch Anwendung bei Gleichstromgeneratoren, die je nach der Leistung stets für die höchste Drehzahl ausgelegt werden, bei welcher eine zuverlässige Kommutierung noch erreicht werden kann.

Dampfmaschinen. Die Leistung ändert sich mit der Dampffüllung. Gebräuchlich ist folgende Leistungsangabe: 1. normale Leistung bei wirtschaftlich bester Füllung; 2. erhöhte Leistung (max. dauernd) bei entsprechend vergrößerter Füllung; 3. max. vorübergehende Leistung.

Für den Generator wird zweckmäßig eine Antriebsleistung zugrunde gelegt, die ungefähr in der Mitte zwischen normaler und erhöhter Leistung liegt; damit ist die möglichst vollkommene Ausnutzung beider Maschinenseiten erreicht.

Dieselmotoren und **Wasserturbinen.** Für die Berechnung der Generatorleistung in kW bzw. kVA ist die normale Volleistung der Antriebsmaschinen einzusetzen.

Gasmotoren. Die normale Volleistung ist zugleich auch die maximale Dauerleistung; Ueberlastungen sind nur kurzzeitig zulässig. Für die Berechnung der Generatorleistung in kW bzw. kVA setzt man zweckmäßig die normale Volleistung abzüglich 5% ein.

Drehzahlen. Drehstrom- und Wechselstrom-Generatoren fordern für die in Deutschland übliche Frequenz von 50 Perioden/sec. nachstehende Drehzahlen.

Normale Drehzahlen von Drehstrommaschinen bei 50 Perioden/sec.

Nach den REM 1923.

Anzahl der Polpaare p	36	32	28	24	20	18	16	14	12
Drehzahl n/min	83	94	107	125	150	167	188	214	250

Anzahl der Polpaare p	10	8	6	5	4	3	2	1
Drehzahl n/min	300	375	500	600	750	1000	1500	3000

Höhere Periodenzahlen fordern proportional höhere Drehzahlen, geringere Periodenzahlen fordern proportional geringere Drehzahlen.

Die für Drehstrom-Generatoren für 50 Perioden normalen Drehzahlen haben sich auch für Gleichstrom-Generatoren als normal eingebürgert. Jedoch können Gleichstrom-Generatoren für jede beliebige Drehzahl gebaut werden.

Riemen- und Seilantriebe.

Der Antrieb von Generatoren mittels Riemen oder Seile hat nach denselben Gesichtspunkten, wie im Abschnitt Motoren angegeben, zu erfolgen. Die Ausführungsformen der Generatoren für Riemen- bzw. Seilantrieb ergeben sich aus nachstehenden Abb. 27—33.

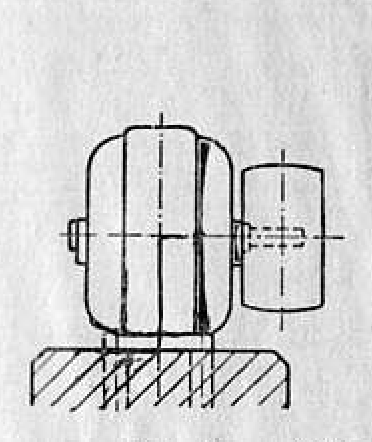


Abb. 27. K 1105
Form A (B 3 mit Riemenscheibe)*. 2 Lagerschilde, normale Riemenscheibe.

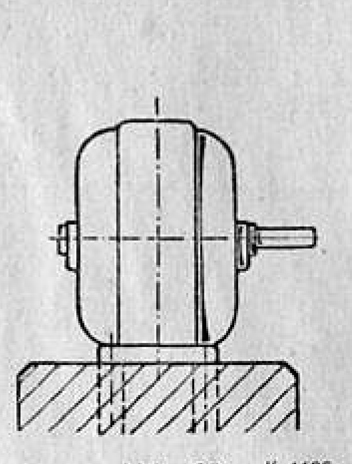


Abb. 28. K 1106
Form E (B 3)*. 2 Lagerschilde, freies zylindrisches Wellenende.

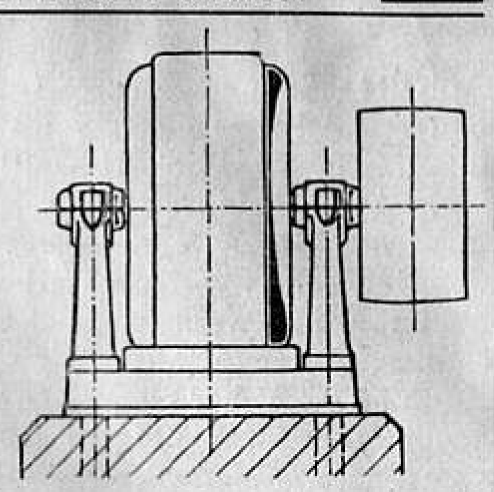


Abb. 29. K 1107
Form H (D 5 mit Riemenscheibe)*. 2 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, normale Riemenscheibe.

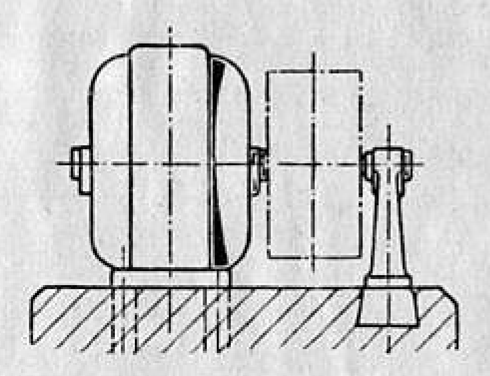


Abb. 30. Form F (C 1)*. K 1108
2 Lagerschilde, freistehendes drittes Lager auf besonderer Sohlplatte ohne Riemenscheibe.

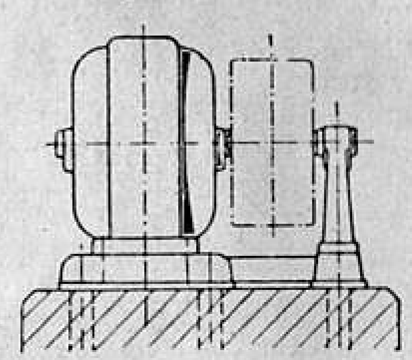


Abb. 31. Form G (C 2)*. K 1109
2 Lagerschilde, ein drittes Stehlager, gemeinsame Grundplatte, ohne Riemenscheibe.

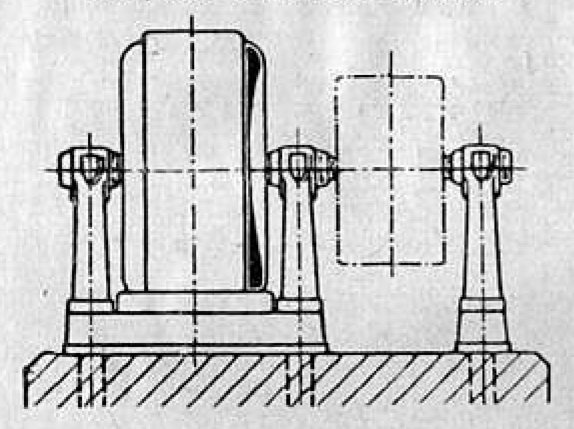


Abb. 32. Form M (D 14)*. K 1110
2 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, drittes Lager auf besonderer Sohlplatte, ohne Riemenscheibe.

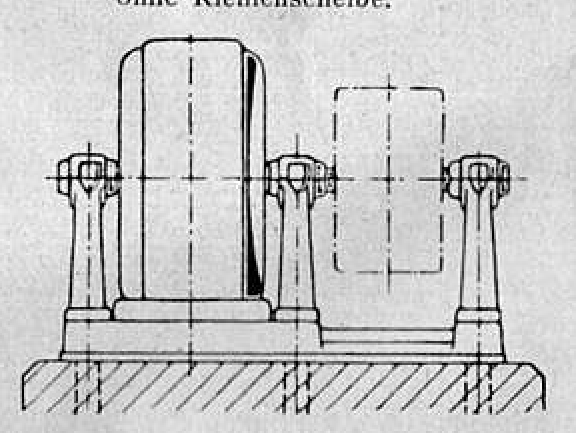


Abb. 33. Form N (D 13)*. K 1111
3 Stehlager auf gemeinsamer Grundplatte, ohne Riemenscheibe.

Direkte Kupplung.

Bei der direkten Kupplung eines Generators mit der Antriebsmaschine sind folgende Richtlinien zu beachten: Gedrängte und doch gefällige Bauart bei Zugänglichkeit aller der Abnutzung oder Bedienung unterworfenen Teile. Vermeidung überflüssiger Lager, Kupplungen, Zusatzschwungräder, da sie für den Betrieb störend und schädlich sind. Im allgemeinen werden sie in den

* Die in Klammern stehenden Formbezeichnungen entsprechen den Angaben auf dem Normblatt DIN VDE 2950.

Abb. 34—39 angegebenen Generatorausführungen für direkten Zusammenbau mit Antriebsmaschinen verwendet. Ihr Zusammenbau mit den Kraftmaschinen wird in Abb. 40a—i angegeben. Die zur Regulierung der Antriebsmaschine und für ihren ruhigen Gang erforderlichen Schwungmassen sollen, wenn irgend möglich, sämtlich in den rotierenden Teil des Generators verlegt werden. Diese Forderung ist ohne weiteres erfüllbar bei Dreh- und Wechselstrom-Generatoren, deren schwungradförmiges Polrad sich ausgezeichnet für den Einbau der erforderlichen Schwungmassen eignet. Der Anker eines Gleichstrom-Generators ist dagegen hierzu weniger geeignet. An Stelle der dazu nötigen kostspieligen Konstruktionen mit vergrößertem Schwerkreisdurchmesser verwendet man besser bei Gleichstrom-Generatoren das billige Zusatzschwungrad. Bei mehrkurbeligen Maschinen, die im Verhältnis zur Leistung nur geringe Schwungmassen erfordern, lohnt es sich dagegen, der Gleichstromschwungradmaschine mit ihren Vorteilen hinsichtlich Platzersparnis, bequemer Bedienung und Zugänglichkeit gegenüber der Anordnung mit Zusatzschwungrad den Vorzug zu geben.

Näheres über Schwungmoment und Ungleichförmigkeitsgrad siehe unter Parallelschalten von Drehstromgeneratoren.

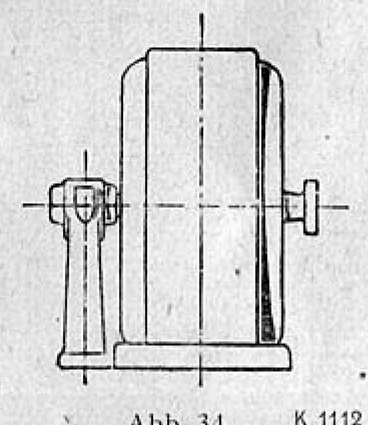


Abb. 34. K 1112
Form J (D 1)*. 1 Außenlager, einlagerige Welle mit Flansch, ohne Grundplatte.

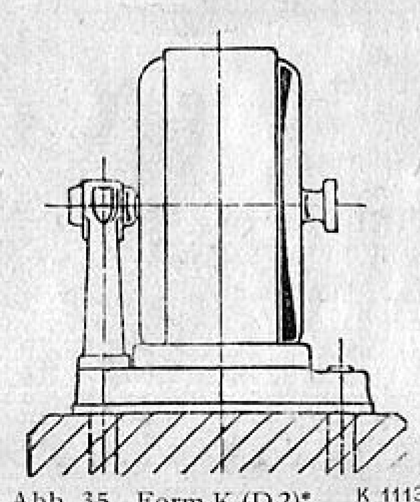


Abb. 35. Form K (D 2)*. K 1113
1 Außenlager auf verkürzter Grundplatte, Welle mit Flansch.

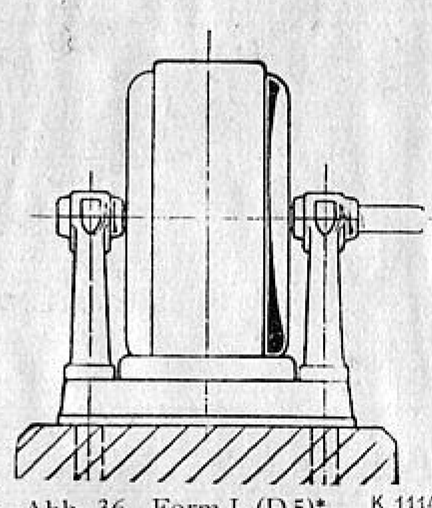


Abb. 36. Form L (D 5)*. K 1114
2 Stehlager a. gemeinsam. Grundplatte, freies zylindr. Wellenende.

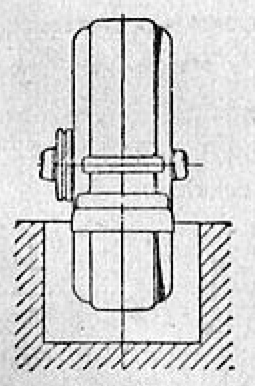


Abb. 37. K 1115
Form O (A 3)*, Gehäuse auf Sohlplatten, ohne Lager, ohne Welle.

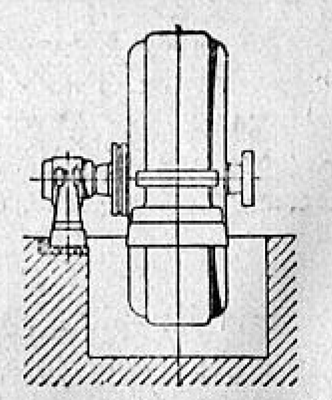


Abb. 38. K 1116
Form P (D 3)*. 1 Außenlager auf besonderer Sohlplatte, Gehäuse auf Sohlplatten, einlagerige Welle mit Flansch.

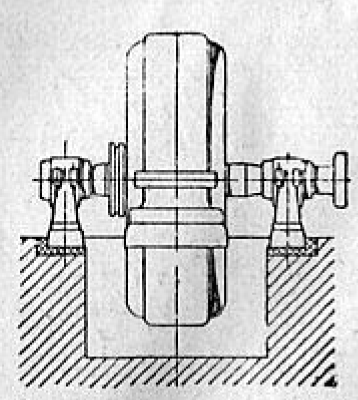
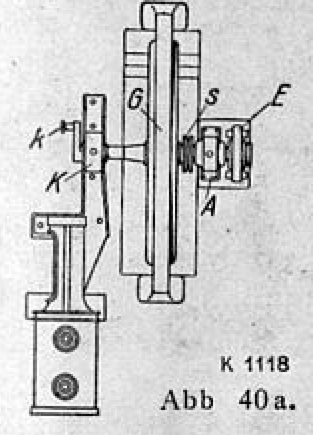


Abb. 39. Form R K 1117
(D 12)*. 2 Lager auf besonderen Sohlplatten, Gehäuse a. Sohlplatten, freies Wellenende od. Welle mit Flansch.

* Die in Klammern stehenden Formbezeichnungen entsprechen den Angaben auf dem Normblatt DIN VDE 2950.

Die in den nachfolgenden Skizzen angeführten Buchstaben haben folgende Bedeutung:

k = Kurbel
K = Kurbellager
G = Generator
s = Schleifringe
S = Schwungrad
A = Außenlager
E = Erregermaschine.
R = Riemenscheibe

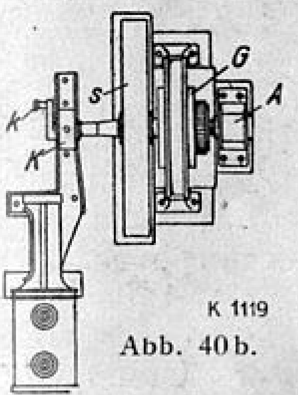


K 1118
Abb 40a.

Liegende Einkurbelmaschinen.

Abb. 40a. Drehstrom, innenrotierend.

Generator: ohne Welle und Lager. (Form O.) Läufer als Schwungrad ausgebildet, mit Zahnkranz für die Andrehvorrichtung, einteilig oder bei schweren Ausführungen auch mehrteilig. Erregermaschine ohne Welle und Lager, Anker fliegend. Bei großen Schwungmassen stellt sich der Preis eines Generators mit außenrotierendem Läufer billiger.



K 1119
Abb. 40b.

Abb. 40b. Gleichstrom, mit Zusatzschwungrad.

Generator: ohne Welle und Lager. (Form O.) Bürstenjoch drehbar am Gehäuse, Anker mit verstärkter Nabe.

Schleifringe für Spannungsteilung werden wie nach Abb. 40a zwischen Außenlager und Generator angeordnet.

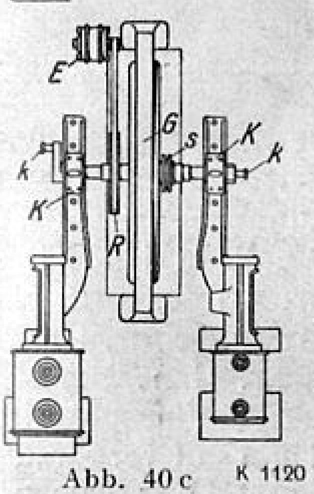


Abb. 40c K 1120

Liegende Zweikurbelmaschinen.

Abb. 40c. Drehstrom, innenrotierend.

Generator: ohne Welle und Lager. (Form O.) Läufer als Schwungrad ausgebildet, mit Zahnkranz für die Andrehvorrichtung mindestens zweiteilig, bei schweren Ausführungen auch mehrteilig.

Erregermaschine separat aufgestellt und von einer zweiteiligen Riemenscheibe direkt von der Kurbelwelle aus angetrieben. Spannrolle empfehlenswert.

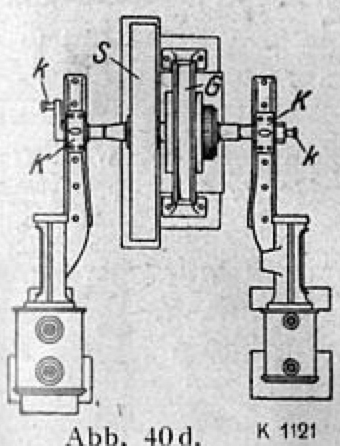


Abb. 40d. K 1121

Abb. 40d. Gleichstrom, mit Zusatzschwungrad.

Generator: ohne Welle und Lager. (Form O.) Bürstenjoch drehbar am Gehäuse.

Anker mit innerer freier Durchgangsöffnung zum Ueberstreifen über die Kurbel k, Raum zwischen Ankerbohrung und Welle ausgefüllt durch zweiteilige Binnennabe. Schleifringe für Spannungsteilung zwischen Generator und Lager K.

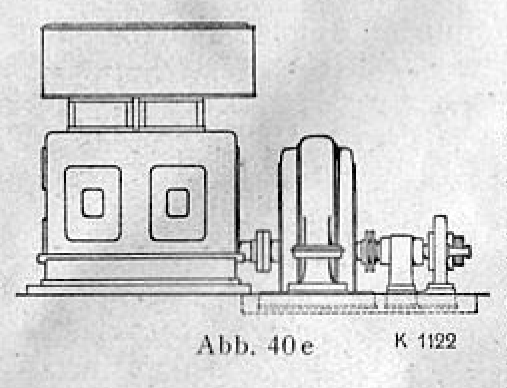


Abb. 40e K 1122

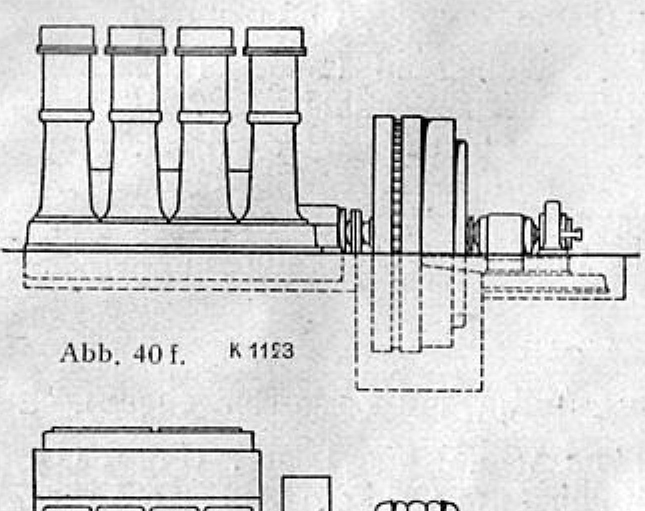


Abb. 40f. K 1123

K 1124
Abb. 40g.

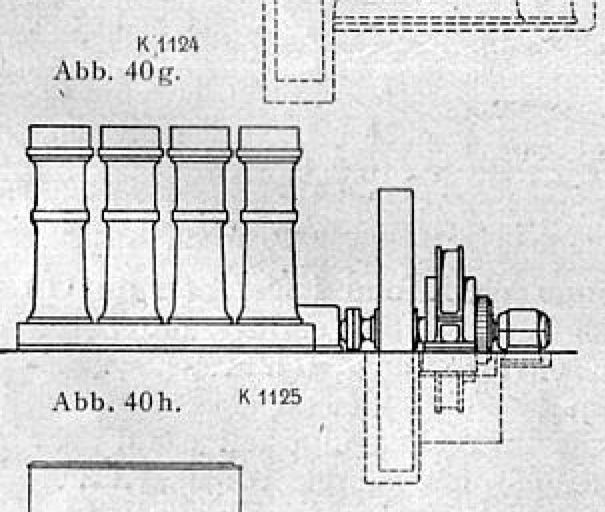
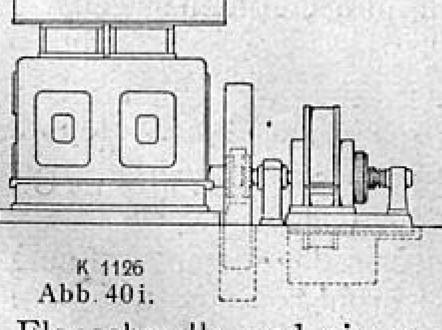


Abb. 40h. K 1125



K 1126
Abb. 40i.

Stehende Maschinen.

Kleine schnellaufende Maschinensätze erhalten eine gemeinsame Grundplatte; bei Dampfmaschinen wird der Generator auf dem verlängerten und abgesetzten Rahmen der Antriebsmaschine einlagerig angeflanscht, während bei Benzin- und ähnlichen Motoren eine gesonderte Grundplatte üblich ist, auf der Motor und Generator mittels elastischer Kupplung verbunden werden. Bei unzureichenden Schwungmassen im Läufer des Generators wird das kleine Zusatzschwungrad entweder auf oder neben der Kupplung angeordnet oder es wird die eine Kupplungshälfte als Schwungradscheibe ausgebildet.

Bei großen Leistungen wird die gemeinsame Grundplatte zu schwer; Antriebsmaschine und Generator werden dann für sich auf einem gemeinsamen Fundament aufgestellt; die Abbildungen zeigen bewährte Anordnungen des Zusammenbaues.

Abb. 40e. Drehstrom, innenrotierend. Generator mit einlageriger Flanschwelle und einem Außenlager entweder auf Sohlplatten (Form P), oder auf verkürzter Grundplatte (Form K). Läufer als Schwungrad ausgebildet mit Zahnkranz, Erregermaschine fliegend.

Abb. 40f. Drehstrom, außenrotierend. Bei großen Schwungmassen, wie z. B. bei Dieselmotoren ist diese Bauart am Platze und in jeder Beziehung der Bauart 40e überlegen.

Abb. 40g. Drehstrom, Drehzahl n = 375 und mehr. Generator mit verlängerter einlageriger Flanschwelle und einem Außenlager auf verkürzter Grundplatte (Form K). Zusatzschwungrad auf oder neben dem Flansch.

Abb. 40h. Gleichstrom, mit Zusatzschwungrad. Generator auf Sohlplatten (Form O) auf der angeflanschten Kurbelwellenverlängerung zwischen Schwungrad und Außenlager.

Abb. 40i. Gleichstrom mit schwerem Zusatzschwungrad. Generator mit einlageriger Flanschwelle und einem Außenlager, entweder auf Sohlplatten (Form P) oder auf verkürzter Grundplatte (Form K). Zwischen Generator und Zusatzschwungrad befindet sich das kräftige Außenlager des Dieselmotors.

Wasserturbinen.

Zu beachten ist, daß der Läufer des Generators den mechanischen Beanspruchungen beim Durchgehen der Antriebsturbine gewachsen ist. Die vorkommenden Drehzahlerhöhungen können bis 130% der normalen Drehzahl betragen (Läufer aus Stahlguß, ev. schwalbenschwanzförmig eingesetzte Pole). Dieses gilt auch für Riemenantriebe.

Die Generatoren können sowohl als reine Schwungradmaschinen als auch für Zusatzschwungrad gebaut werden; entscheidend ist die Platz- und Preisfrage. Kleinere Einheiten werden mittels elastischer Kupplung mit der Turbinenwelle verbunden (Form L), bei größeren Maschinensätzen ist starre Kupplung vorzuziehen (Form L oder R).

Ausführung des Generators: zweilagerig auf gemeinsamer Grundplatte (Form L), bei größeren Leistungen mit getrennten Sohlplatten (Form R). Die zweilagerige Welle erhält entweder festen Flansch oder ein freies Wellenende zur Aufnahme der einen Hälfte der elastischen Kupplung.

Turbinen mit stehender Welle bedingen stets Sonderausführungen des Generators, die von Fall zu Fall festgelegt werden müssen.

V. Umformer.

Motorgeneratoren.

Bauart.

Für Leistungen bis 150 kW werden im allgemeinen Lagerschildtypen und für größere Leistungen Bocklagermaschinen verwendet. Je nach der Verwendungsart erfolgt der Antrieb mittels Riemen oder direkter Kupplung. Bei direkter Kupplung ist für eine getrennte Aufstellung der Maschinen stets eine elastische Kupplung zu verwenden, während bei Anordnung einer gemeinsamen Grundplatte auch eine starre Kupplung zulässig ist.

Anwendungsgebiet.

Motorgeneratoren werden verwendet für:

1. Umformung von Wechselstrom oder Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt in denjenigen Fällen, für welche die später zu behandelnden Einankerumformer sich nicht eignen;
2. Umformung von Drehstrom in Einphasenstrom oder in Drehstrom anderer Periodenzahl;
3. Umformung von Gleichstrom in Gleichstrom anderer Spannung (Zusatz-, Ausgleich-, Regelsätze).

Zu 1. Bei Umformung von Drehstrom in Gleichstrom kann man für den Antrieb sowohl einen Asynchron- als auch einen Synchronmotor wählen. Der Asynchronmotor kann auf einfache Weise mittels Anlasser für geringe Last angelassen werden (Abb. 41).

Das Anlassen des Synchronmotors erfolgt entweder asynchron oder mittels Anwurfmotor. Als Anwurfmotor kann der Gleichstromgenerator verwendet werden, wenn eine ausreichende Gleichstromquelle zur Verfügung steht. Der Generator erhält in diesem Falle außer dem Nebenschlußregler einen Anlasser für ca. 20% der Vollast (Abb. 42).

Ist Gleichstrom nicht vorhanden, so ist ein besonderer Drehstrom-Anwurfmotor, dessen Leistung kurzzeitig ca. 10% der Leistung des Umformers betragen muß, erforderlich (Abb. 43). Der Synchronmotor hat vor dem Asynchronmotor den Vorteil, eine bei jeder Belastung gleich-

bleibende Drehzahl zu haben. Sein Leistungsfaktor ist 1, und er kann durch Uebererregung auch den schlechteren Leistungsfaktor anderer Motoren ausgleichen. Näheres siehe unter Motoren mit verbessertem Leistungsfaktor.

Zu 2. Bei Umformung von Drehstrom in Einphasenstrom oder in Drehstrom anderer Periodenzahl verwendet man im allgemeinen zwei Synchronmaschinen. Das Anlassen erfolgt mit Anwurfmotor oder asynchron. Die Erregermaschine wählt man ausreichend für beide Synchronmaschinen, falls anderweitig kein Gleichstrom zur Verfügung steht.

Zu 3. L a d e - A g g r e g a t e mit Gleichstrom-Maschinen für erhöhte Spannung erfordern bei Antrieb durch Gleichstrom-Motoren Regelung der Drehzahl zur Erzielung der erhöhten Ladespannung. Man verwendet einen entsprechenden Regelanlasser für Anlauf mit geringer Last. Die Wattleistung des Generators ist konstant, deshalb ist bei Steigerung der

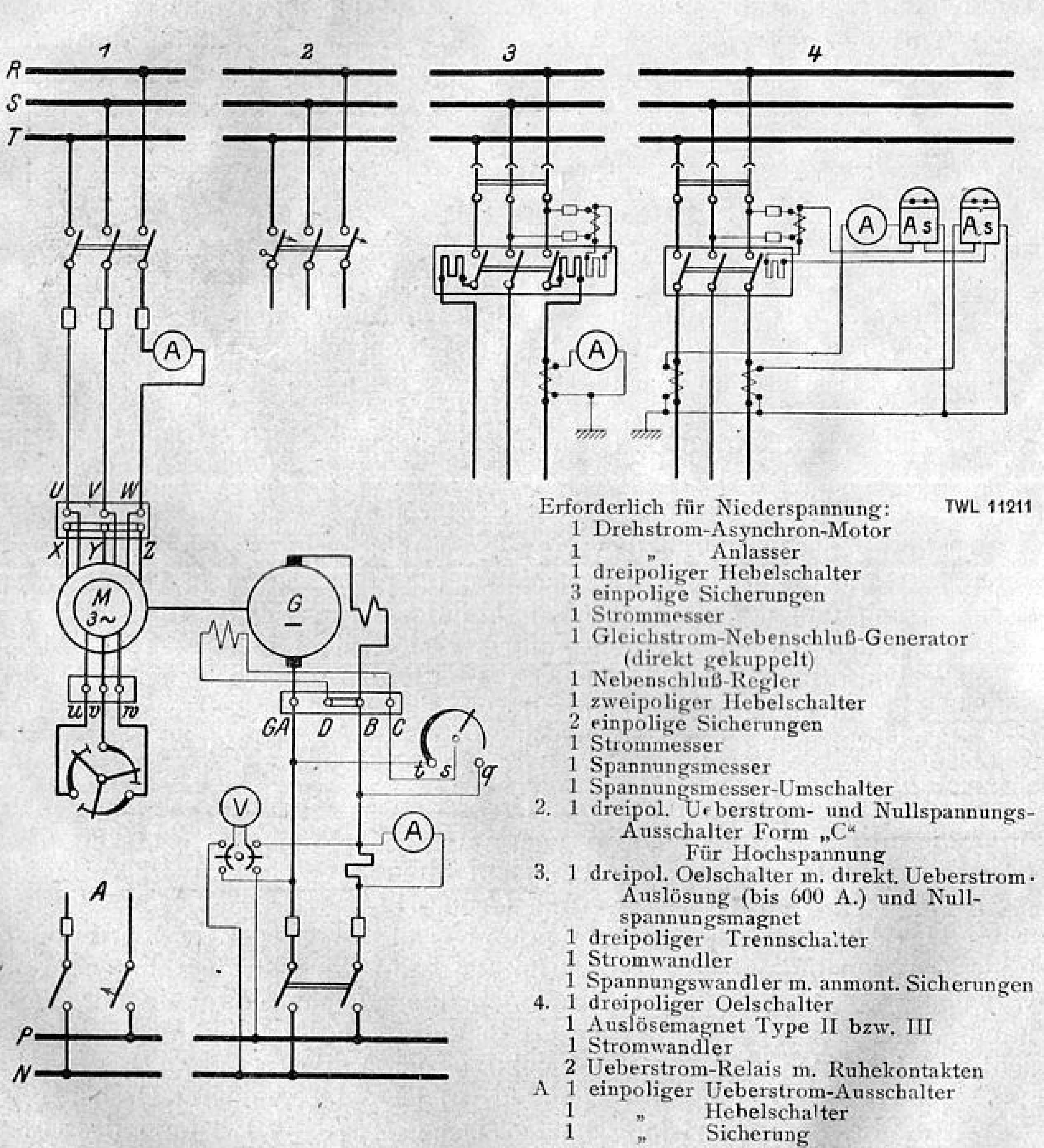


Abb. 41. Schaltplan für eine Umformeranlage. Asynchron-Motor-Generator.

Spannung die Stromstärke herabzusetzen. Bei Antrieb durch einen Drehstrommotor ist die Drehzahl für die höchste Gleichstromspannung zu bemessen und ein besonderer Nebenschluß-Regler (Bezeichnung K) zu verwenden. Die Gleichstrom-Maschine besitzt dann Nebenschlußwicklung.

Zusatzaggregate erfordern stets fremde Erregung. Hierfür wird ein besonderer Nebenschluß-Regler (Bezeichnung Z) verwendet. Die Leistung der Zusatzmaschine ist bestimmt durch die größte Stromstärke und die höchste Spannung. Die Leistung des Motors wählt man entsprechend der höchsten Spannung und $^2/_3$ der höchsten Stromstärke, den Anlasser für Regelung der Drehzahl und für Anlauf mit geringer Last.

Ausgleichmaschinen dienen zum Ausgleich der verschiedenen Belastungen in den Netzhälften eines Dreileitersystems und zur Konstant-

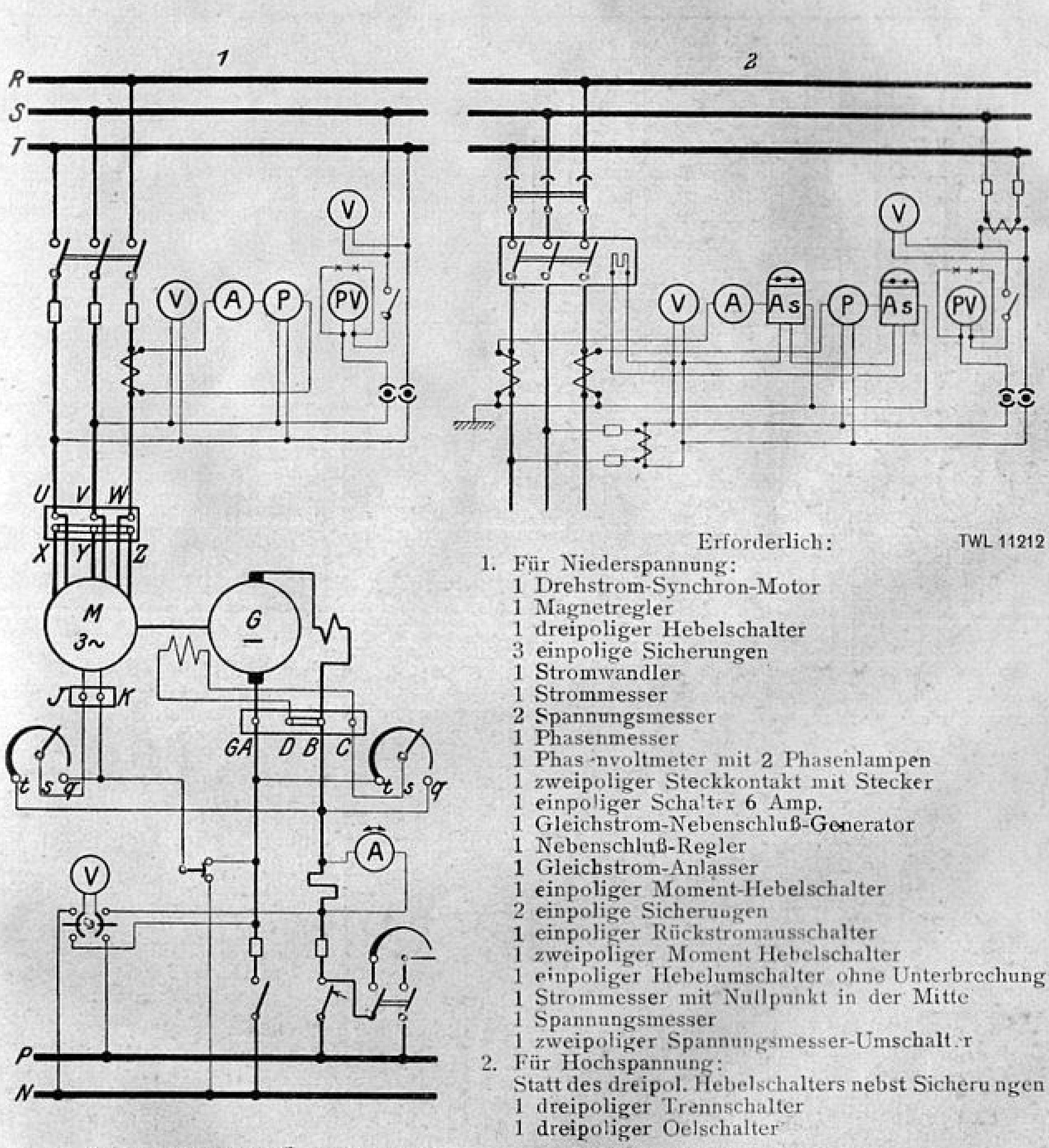
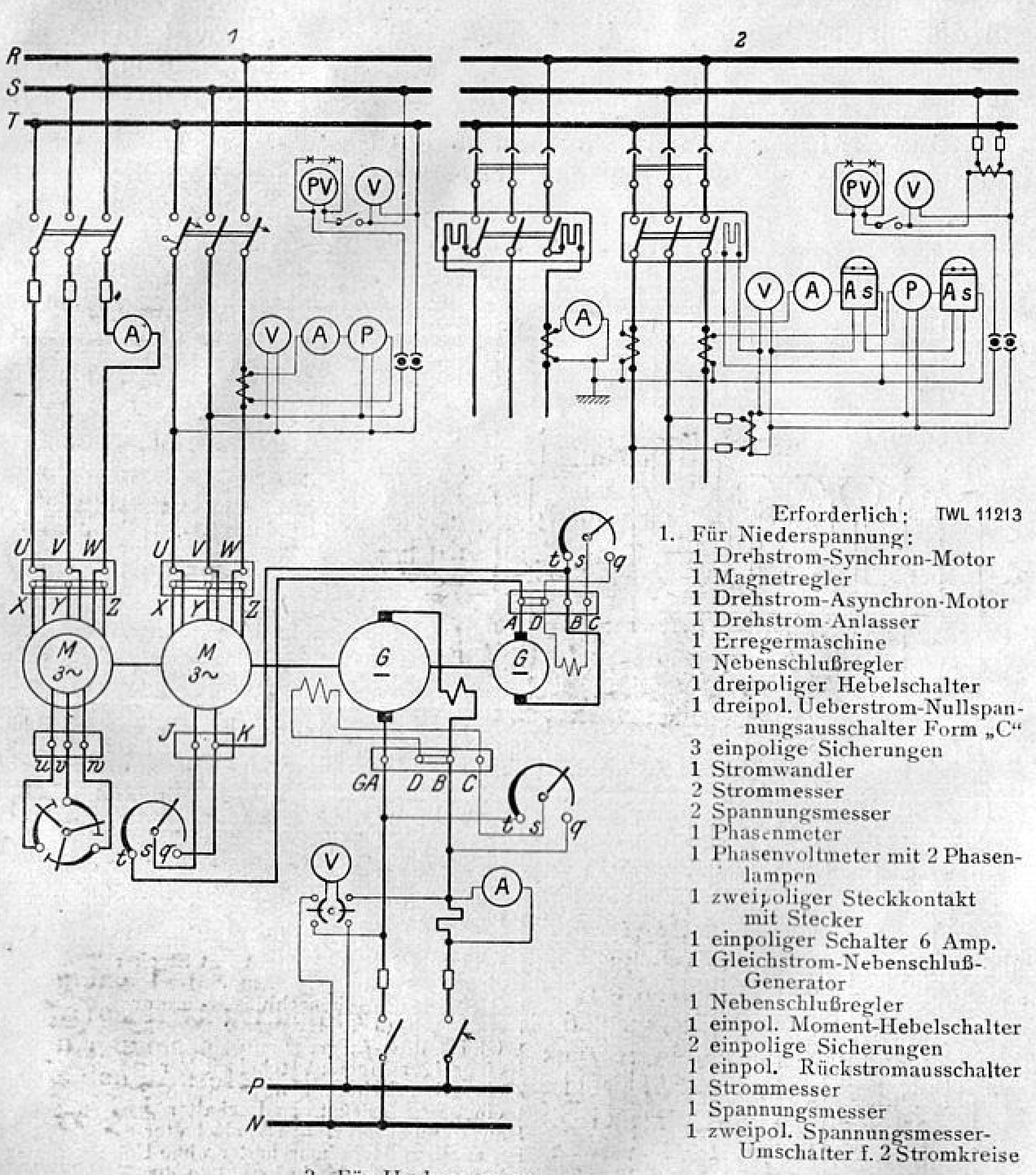


Abb. 42. Schaltplan für eine Umformeranlage. Synchron-Motor-Generator, Anlassen von der Gleichstromseite aus.

haltung der Spannung in beiden Netzhälften. Die Leistung jeder Maschine wählt man gleich der Hälfte des Nulleiterstromes mal der Spannung in jeder Netzhälfte. Erforderlich sind zwei Nebenschluß-Regler und ein Anlasser mit Nullklemme. Die Erregung erfolgt über Kreuz. Bei einer Kupplung des Ausgleichsatzes mit einer Zusatzmaschine (Dreimaschinensatz) dienen die Ausgleichmaschinen als Antriebsmotoren für die Zusatzmaschine.



Erforderlich:

1. Für Niederspannung:
   - 1 Drehstrom-Synchron-Motor
   - 1 Magnetregler
   - 1 Drehstrom-Asynchron-Motor
   - 1 Drehstrom-Anlasser
   - 1 Erregermaschine
   - 1 Nebenschlußregler
   - 1 dreipoliger Hebelschalter
   - 1 dreipol. Ueberstrom-Nullspannungsausschalter Form „C“
   - 3 einpolige Sicherungen
   - 1 Stromwandler
   - 2 Strommesser
   - 2 Spannungsmesser
   - 1 Phasenmeter
   - 1 Phasenvoltmeter mit 2 Phasenlampen
   - 1 zweipoliger Steckkontakt mit Stecker
   - 1 einpoliger Schalter 6 Amp.
   - 1 Gleichstrom-Nebenschluß-Generator
   - 1 Nebenschlußregler
   - 1 einpol. Moment-Hebelschalter
   - 2 einpolige Sicherungen
   - 1 einpol. Rückstromausschalter
   - 1 Strommesser
   - 1 Spannungsmesser
   - 1 zweipol. Spannungsmesser-Umschalter f. 2 Stromkreise

2. Für Hochspannung:

Statt des dreipol. Hebelschalters nebst Sicherungen und Ausschalters Form „C“
- 2 dreipolige Trennschalter
- 1 dreipoliger Oelschalter mit direkt. Ueberstromauslösung

- 1 dreipoliger Oelschalter
- 1 Auslösemagnet Type II bzw. III
- 2 Ueberstrom-Relais mit Ruhekontakten
- 2 Stromwandler
- 2 Spannungswandler mit anmontierten Sicherungen

Abb. 43. Schaltplan für eine Umformeranlage. Synchron-Motor-Generator, Anlassen durch einen Asynchron-Anwurfmotor.

Bei Umformung von Gleichstrom in Gleichstrom anderer konstanter Spannung ist die Sparschaltung vorteilhaft, da die Typen und die Verluste entsprechend kleiner ausfallen. Sie lohnt jedoch nur, wenn das Verhältnis beider Spannungen nicht größer als 1 : 3 ist.

Puffersätze (Booster) für Akkumulatorenanlagen werden in verschiedenen Schaltungen (Pirani, Highfield) ausgeführt. Die Erregung des Generators wird von der Stromstärke des Netzes beeinflußt. Da stets eine besondere Berechnung notwendig ist, sind Angaben über Primärspannung desjenigen Netzstromes, bei welchem die Spannung der Zusatzmaschine null sein soll, des höchstzulässigen Ladestromes der Batterie und des Entladestromes der Batterie bei einstündiger Entladung erforderlich.

Regelsätze werden in Leonardschaltung und in Zu- und Gegenschaltung ausgeführt. Hierfür sind Spezialanlasser und Regler erforderlich.

Einanker-Umformer.

Bauart.

Einankerumformer unterscheiden sich von Gleichstrommaschinen in ihrem äußeren Aufbau hauptsächlich durch das Vorhandensein der Schleifringe auf der dem Kollektor entgegengesetzten Seite. Kleinere Umformer, für etwa 40 bis 150 kW, werden als Lagerschildtypen ausgeführt (Abb. 44), größere Umformer dagegen mit Stehlagern auf gemeinsamer Grundplatte (Abb. 45). Alle Einankerumformer werden mit Wellenspiel ausgerüstet, durch welches eine Rillenbildung an Kollektor und Schleifringen verhindert wird. Dieses ist eine Vorrichtung, die auf die eine Stirnfläche der Welle wirkt und ein periodisches axiales Pendeln des Läufers veranlaßt.

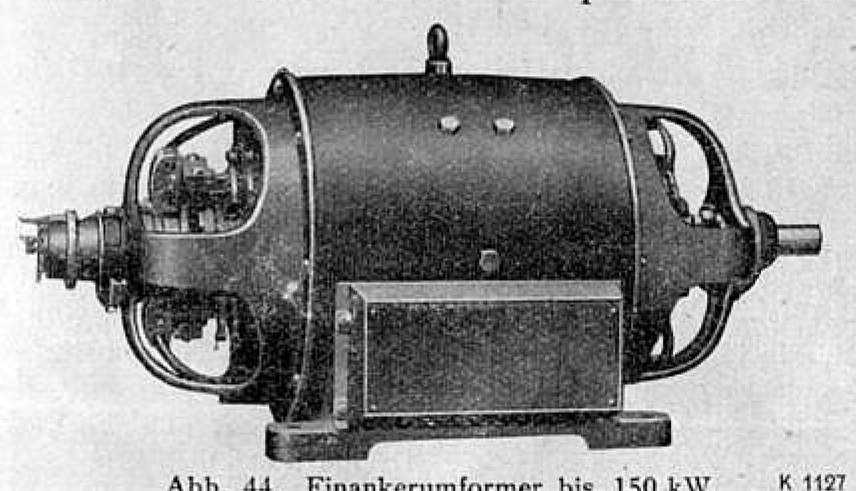
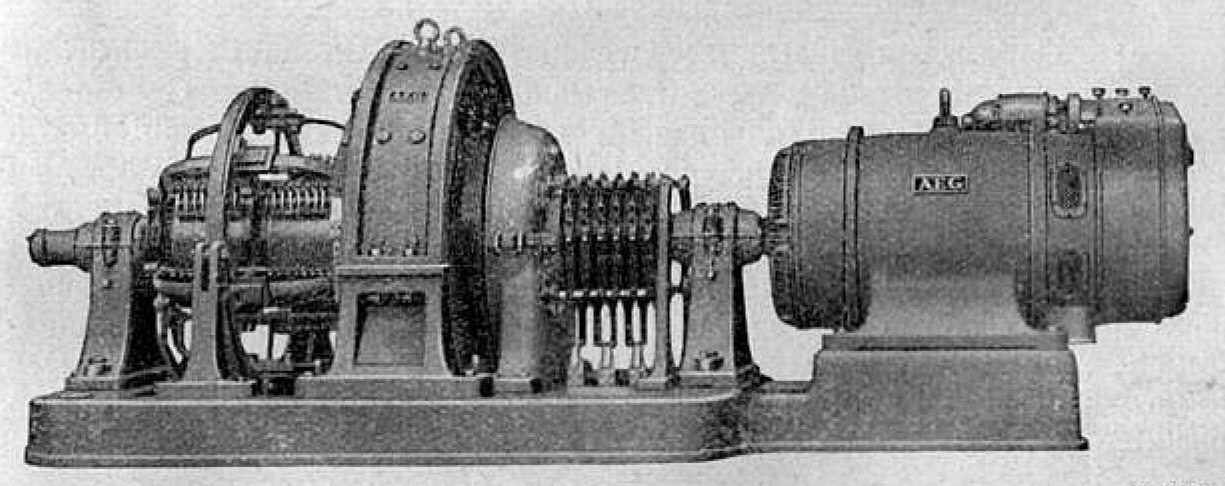


Abb. 44. Einankerumformer bis 150 kW. K 1127



K 1128

Abb. 45. Einankerumformer für größere Leistungen mit angebautem Drehtransformator.

Anwendungsgebiet.

Einankerumformer können zur Umformung von Drehstrom in Gleichstrom und umgekehrt verwendet werden, jedoch sind für letztere Zwecke besondere Schaltungen notwendig. Sie werden für Leistungen von etwa 20 kW aufwärts, für konstante Spannung oder Spannungsregelung innerhalb der Grenzen ± 25 Prozent gebaut. Bei höheren Spannungsregelungen, bei größeren, plötzlich auftretenden Spannungsänderungen im Netz und hierbei erforderlichem Parallelbetrieb, ferner bei schlechterem Leistungsfaktor als 0,8 auf der Drehstromseite sind Motorgeneratoren zu verwenden.

Vorteile der Einankerumformer.

Einankerumformer haben im Vergleich zu Motorgeneratoren einen hohen Wirkungsgrad, niedrige Anschaffungskosten, ein geringes Gewicht, geringen Platzbedarf und einfache Spannungsteilung. Der Leistungsfaktor ist normalerweise 1.

Spannungsverhältnisse.

Bis etwa 300 kW werden die Einanker-Umformer dreiphasig, für höhere Leistungen sechsphasig gebaut. Bei Vollast und $\cos \varphi = 1$ ist bei dreiphasigen Umformern das Verhältnis der Drehstrom- zur Gleichstromspannung 0,65 bis 0,69, bei sechsphasigen Umformern 0,71 bis 0,76. Das Verhältnis der Stromstärke pro Schleifring der Drehstromseite zur Gleichstromseite beträgt bei dreiphasigen Umformern etwa 0,94 und bei sechsphasigen etwa 0,47.

Beispiel. Für einen Einankerumformer von 200 kW Leistung und 230 Volt Gleichstrom liegen bei Vollast und $\cos \varphi = 1$ die Spannungs- und Stromverhältnisse ungefähr wie folgt:

	Gleichstromseite	Drehstromseite	
		Dreiphasig	Sechsphasig
Spannung Volt	230	154	174
Stromstärke Amp.	870	818	409

Das Uebersetzungsverhältnis zwischen Drehstrom- und Gleichstromspannung ist fest, deshalb ist zur Erzielung der verlangten Gebrauchsspannung fast stets ein Transformator erforderlich. Der Anschluß von mehreren Einankerumformern, die gleichstromseitig parallel arbeiten, an einen gemeinsamen Transformator ist zu vermeiden, da die Gefahr von störenden Ausgleichströmen besteht. Das Uebersetzungsverhältnis ist nahezu bei allen Belastungen konstant. Der Spannungsabfall zwischen Leerlauf und Vollast beträgt ungefähr vier Prozent. Der Leistungsfaktor ist mit dem Nebenschlußregler auf $\cos \varphi = 1$ einstellbar. Der Umformer arbeitet hierbei mit geringsten Verlusten, also mit günstigstem Wirkungsgrad.

Spannungsregelung.

Drosselspulen stellen die einfachste und billigste Möglichkeit der Spannungsregelung dar. Sie werden zwischen Sekundärwicklung des Transformators und Umformer geschaltet und sind für kleinere Um-

former und eine Regelung bis ± 5 % verwendbar. Nachteilig ist hierbei, daß eine Phasenverschiebung eintritt, wodurch verstärkte Feldspulen erforderlich werden, ebenso fällt der Transformator etwas größer aus. Eine unabhängige Einstellung der Spannung und des Leistungsfaktors ist nicht möglich. Es ergibt sich vielmehr bei

stärkerem Erregen: Stromvoreilung und höhere Spannung,
schwächerem Erregen: Stromnacheilung und niedrigere Spannung.

Gewöhnlich wird die Drosselspule so gewählt, daß bei Vollast und höchster Gleichstromspannung der Leistungsfaktor auf der Primärseite des Transformators etwa $\cos \varphi = 1$ ist, also der Blindverbrauch des letzteren ausgeglichen wird.

Ein Drehtransformator kommt für Regelung der Spannung bis ± 25 % in Betracht. Im Aufbau gleicht er einem Drehstrom-Asynchronmotor, dessen Läufer durch einen Schneckenantrieb festgehalten und um eine Polteilung beliebig gedreht werden kann. Von der in Sparschaltung ausgeführten Wicklung befindet sich gewöhnlich auf dem Läufer die Primärwicklung. Die im Ständer liegende Sekundärwicklung ist normalerweise zwischen die Unterspannungsseite des Transformators und den Umformer geschaltet, wird also von dem in den Umformer zu leitenden Drehstrom durchflossen. Bei dieser Art der Regelung können Spannung und Leistungsfaktor unabhängig voneinander durch Verstellung des Drehtransformators und des Nebenschlußreglers eingestellt werden.

Der Drehtransformator wird entweder mit auf die Umformergrundplatte montiert (Abb. 45) und in diesem Falle durch einen auf der Umformerwelle sitzenden Ventilator gekühlt oder bei getrennter Aufstellung an beliebiger Stelle mit einem besonderen kleinen Ventilator ausgerüstet.

Selbsttätige Spannungsregelung. Wenn bei schwankender Drehstromspannung selbsttätig konstante Gleichstromspannung verlangt wird, kann die Regelung durch ein auf der Gleichstrom- oder Drehstromseite liegendes Relais erfolgen, welches den Drehtransformator oder bei Drosselspulregelung den Nebenschlußregler betätigt. Hierbei ist Voraussetzung, daß die Spannungsänderung nur so schnell erfolgt, daß die Regelung vor allem bei Verwendung eines Drehtransformators mit genügender Schnelligkeit nachkommen kann. Wird bei konstanter Drehstromspannung eine selbsttätig praktisch konstante Gleichstromspannung verlangt, so genügt eine Compoundierung unter Verwendung einer Drosselspule.

Anlassen.

Asynchrones Anlassen (Abb. 46). Diese Anlaßmethode ist die weitaus gebräuchlichste. Hierbei wird der Nebenschlußregler in seine normale Vollaststellung gebracht und der Umformer durch einen Anlaßumschalter an eine durch Anzapfung auf der Sekundärseite des Transformators erhaltene Teilspannung gelegt, die etwa 30—40 % der Vollastspannung beträgt. Beim Einschalten des Oelschalters (Vorstufenschalter) läuft dann der Umformer zunächst wie ein Kurzschlußankermotor an, da die in den Polschuhen untergebrachte Dämpferwicklung als Kurzschlußwicklung wirkt. Mit zunehmender Drehzahl erregt er sich selbst und läuft dadurch automatisch in Synchronismus.

Die Polarität auf der Gleichstromseite kann hierbei verschieden ausfallen. Bei falscher Polarität kann man kleinere Umformer durch kurzzeitiges drehstromseitiges Ab- und wieder Einschalten so weit zum Schlüpfen bringen, daß die richtige Polarität eintritt. Ein weiteres Mittel zur Umkehrung der Polarität ist in dem Umschalten des Erregerfeldes gegeben. Bei großen Einankerumformern, deren Trägheit schnelle Aenderungen der Drehzahl verhindert, kann man auch kurz vor dem Synchronismus dadurch die richtige Polarität abfangen, daß man bei schwacher Erregung den Feldkreis unterbricht und erst bei richtiger Polarität wieder einschaltet.

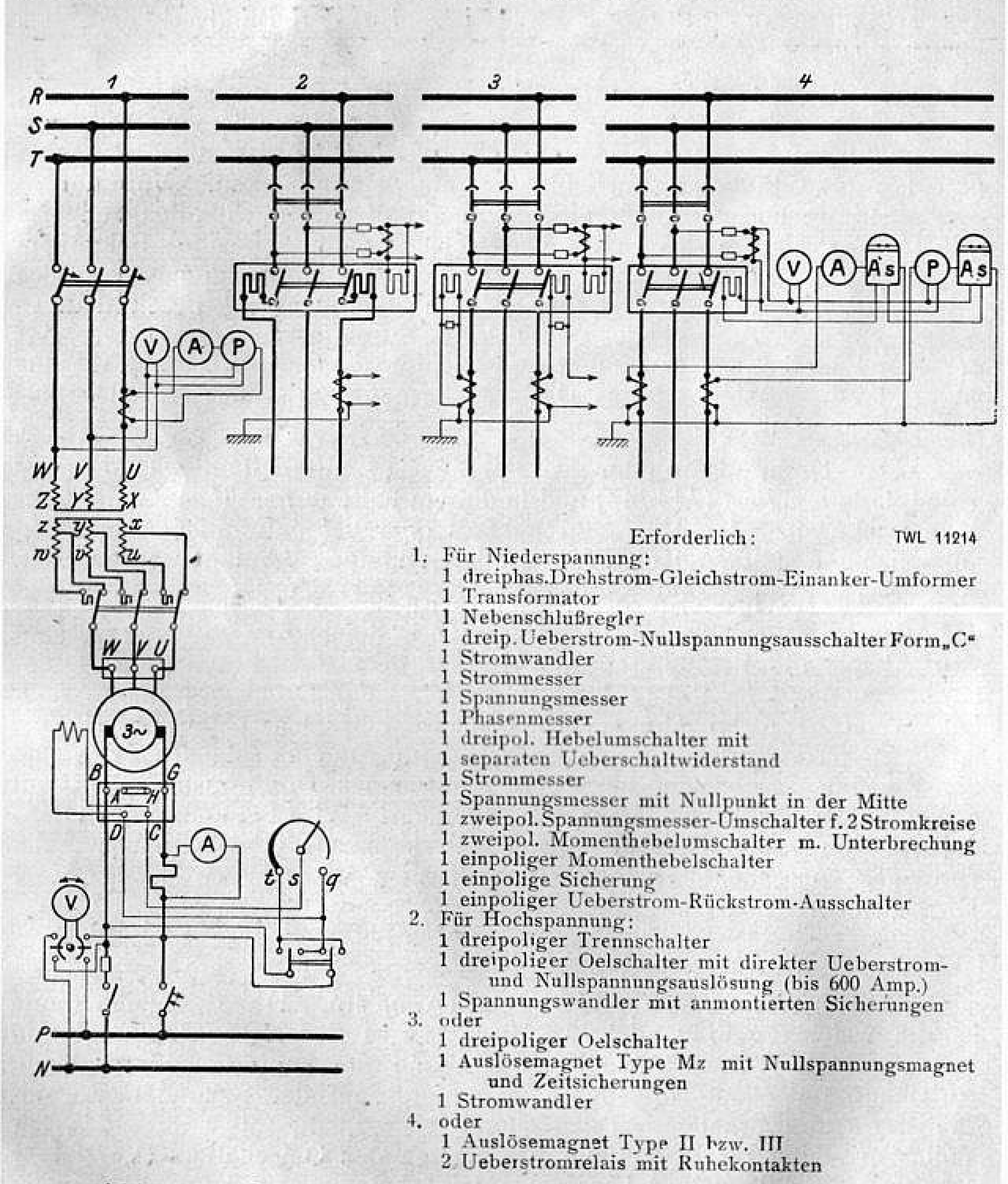


Abb. 46. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage. Asynchrones Anlassen von der Drehstromseite aus. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage.

Spannungsregelung siehe Abb. 48.

Nun erst wird der Umformer bei etwa normaler Erregung durch den dreipoligen Anlaßumschalter von der Anlaufstellung auf die Betriebsstellung umgeschaltet. Damit der Umformer dabei in Tritt bleibt und richtige Polarität behält, muß das Umschalten schnell erfolgen. Es sind daher bei größeren Leistungen Schnellumschalter zu verwenden, welche durch Fallgewichte mechanisch herumgeworfen werden.

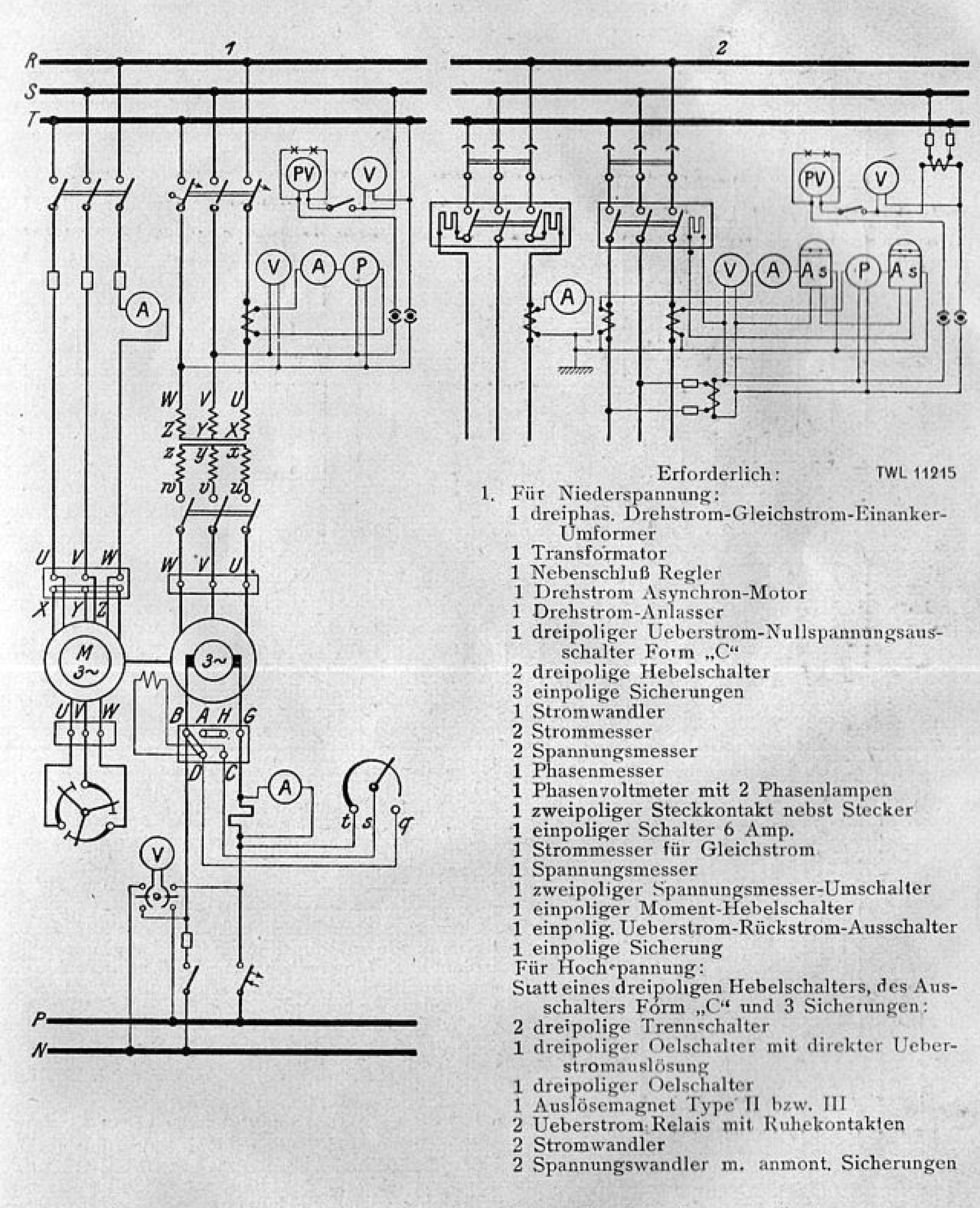


Abb. 47. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage. Anlassen durch einen Asynchron-Anwurfmotor. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage.

Spannungsregelung siehe Abb. 48.

Anlassen durch Anwurfmotor. Im Gegensatz zum asynchronen Anlassen ist bei dieser Anlaßmethode ein Synchronisieren beim Einschalten erforderlich (Abb. 47). Der Umformer wird durch einen mit ihm gekuppelten Drehstrom-Asynchronmotor, welcher eine um 2 geringere Polzahl besitzt, auf seine synchrone Drehzahl gebracht. Die Leistung des Motors muß kurzzeitig etwa 10% der Umformerleistung betragen, der

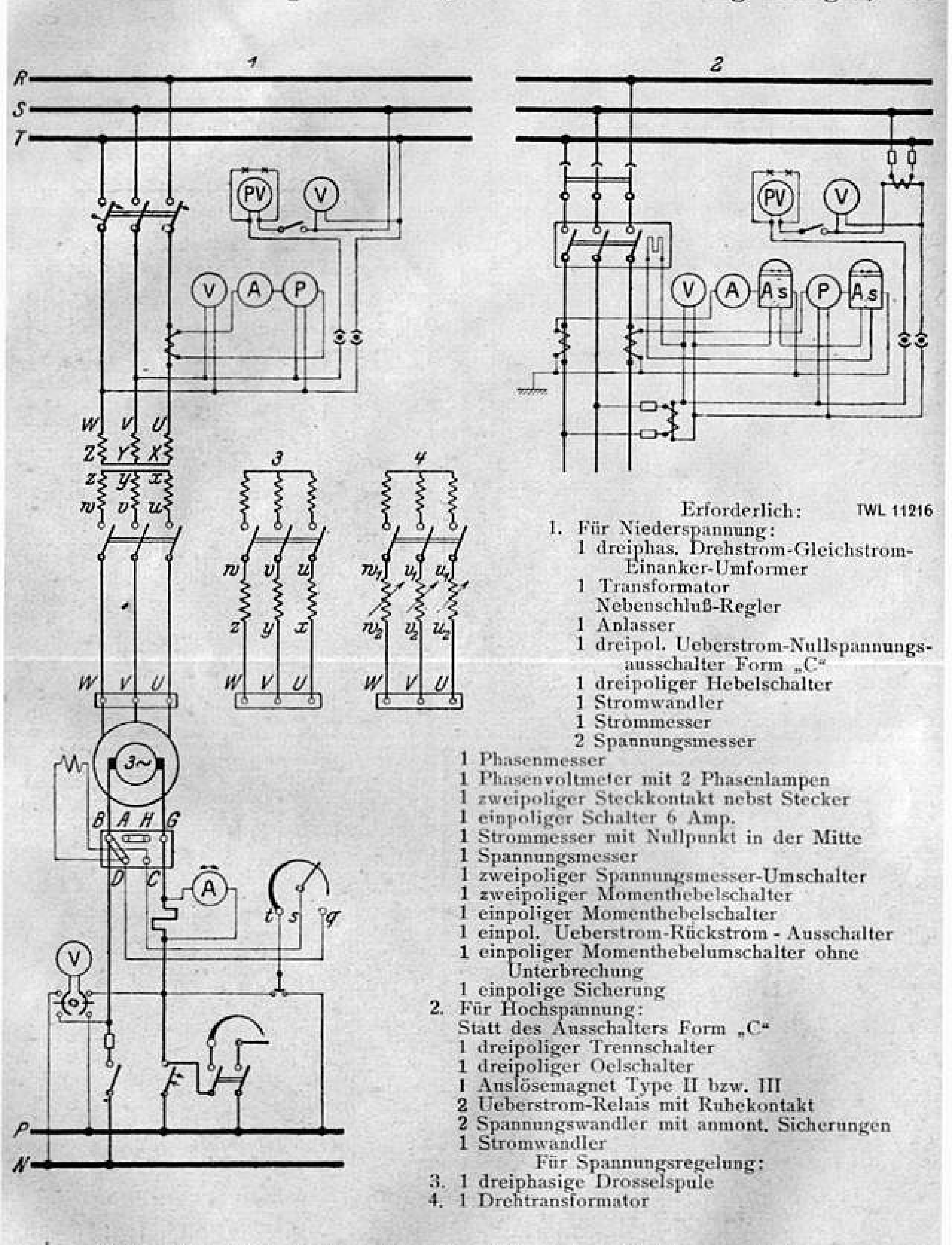


Abb. 48. Schaltplan für eine Einanker-Umformer-Anlage. Anlassen von der Gleichstromseite aus. Gleichstrom-Zweileiter-Anlage.

Anlasser ist für entsprechende Verminderung der Drehzahl vorzusehen. Dann erfolgt das Synchronisieren, und zwar sind die gleichen Punkte wie beim Parallelschalten von Drehstromgeneratoren zu beobachten. Nachdem der Umformer an das Netz gelegt ist, muß der Anwurfmotor abgeschaltet werden. Dem Vorteil eines wesentlich geringeren Anlaufstromes als beim asynchronen Anlauf steht ein höherer Anschaffungspreis und das dauernd leere Mitlaufen des Anwurfmotors nachteilig gegenüber.

Anlassen durch gleichpoligen Anwurfmotor. Der Umformer wird durch einen mit ihm gekuppelten Drehstrom-Asynchronmotor gleicher Polzahl auf die asynchrone Drehzahl gebracht. Dann legt man ihn mit so viel vorgeschaltetem Widerstand im Feldkreis, daß keine Selbsterregung eintritt, über eine dreiphasige Ueberschalt-Drosselspule an die volle Betriebsspannung. Nachdem der Umformer bei langsamer Verstärkung der Erregung von selbst in Synchronismus gelaufen ist, wird ebenso wie beim asynchronen Anlauf nötigenfalls die richtige Polarität durch Feldpolumschalter hergestellt. Dann wird die Felderregung auf ihren normalen Wert verstärkt und nun erst die Ueberschaltdrossel kurzgeschlossen und der Anwurfmotor abgeschaltet.

Gleichstromseitiges Anlassen. Diese Anlaßmethode (Abb. 48) ist natürlich nur in den Fällen möglich, in denen eine Gleichstromquelle in ausreichender Größe vorhanden ist, da der Anlaufstrom immerhin in den ersten Sekunden 20 bis 25% des Normalstromes beträgt. Das Anlassen erfolgt wie bei einem gewöhnlichen Gleichstrom-Nebenschlußmotor, und zwar mittels eines Anlassers für etwa 20% des Vollaststromes, nachdem der Nebenschlußregler ziemlich ausgeschaltet worden ist, der Umformer also volle Erregung besitzt. Hat der Umformer die normale Drehzahl erreicht, so ist er genau wie ein Drehstromgenerator mit dem Drehstromnetz zu synchronisieren. Dann ist der Anlasser durch den Rückstromausschalter kurzzuschließen und auszuschalten.

Schutzvorrichtungen. Auf der Drehstromseite sollte grundsätzlich Nullspannungsauslösung vorgesehen werden, um den Umformer bei Ausbleiben der Drehstromspannung sofort abzuschalten. Andernfalls ist die nicht mehr mit synchroner Drehzahl laufende Maschine bei etwaiger Wiederkehr der Spannung stark gefährdet. Bei Parallelarbeiten auf der Gleichstromseite ist Rückstromauslösung zum Schutz der Maschine gegen Durchgehen erforderlich. Gewöhnlich werden Ueberstrom-Rückstromausschalter verwendet, welche gleichzeitig die Sicherungen ersetzen. Bei Spannungsteilung ist in jedem Pol ein derartiger Selbstschalter erforderlich; beide müssen elektrisch gekuppelt sein, so daß beim Ansprechen eines Schalters beide auslösen. Dadurch ist dann auch ein gleichzeitiges Einschalten bedingt. Da bei gleichstromseitigem Anlassen ein Selbstschalter geöffnet bleiben muß, ist in diesem Falle die Kupplung bei geöffnetem Nulleiterschalter durch einen an diesem angebrachten Hilfskontakt zu unterbrechen.

Die Felderregung ist im Betriebe grundsätzlich an den Umformer direkt anzuschließen, so daß sie beim Auslösen der Selbstschalter nicht unterbrochen wird. Für das gleichstromseitige Anlassen muß daher die Erregung durch einen einpoligen Umschalter ohne Unterbrechung zu-

nächst auf die Gleichstrom-Sammelschienen geschaltet werden und ist erst nach dem Schließen des Selbstschalters auf den Umformer umzulegen.

Parallelbetrieb.

Die Umformer arbeiten anstandslos mit anderen Umformern, Motorgeneratoren und Batterien parallel. Schwierigkeiten können nur dann entstehen, wenn plötzliche Spannungsänderungen im Drehstromnetz auftreten oder wenn die Eigenschwingungen des Umformers in Resonanz mit den Schwingungen der Netzmaschinen geraten. Der erstere Fall macht ein gutes Parallelarbeiten unmöglich. Die zweite Schwierigkeit kann durch entsprechende Bauart des Umformers vermieden werden, weshalb genaue Angaben über die Art der Antriebsmaschinen der Drehstromzentralen, an welche der Umformer angeschlossen wird, gemacht werden müssen.

Eine direkte Batterieladung ist mit dem Umformer an und für sich dadurch leicht möglich, daß der Regelbereich des Drehtransformators entsprechend ausgedehnt wird. Die Aufstellung eines besonderen Ladeaggregates ist jedoch lohnender, wenn die Ladeleistung sehr viel kleiner als die Umformerleistung ist.

Spannungsteilung.

Zur Spannungsteilung genügt es, den sekundären Nullpunkt des Transformators als Nulleiter herauszuführen. Es ist aber darauf zu achten, daß bei Sechsphasen-Umformern auch die Drosselspule bzw. der Drehtransformator sechsphasig ausgeführt wird.

Bei sehr großen Stromstärken kann der Drehtransformator auch auf die Primärseite des Transformators in den Nullpunkt gelegt werden. Er wird dann in jedem Fall nur dreiphasig, hat kleinere Kupferquerschnitte, muß aber ausreichende Isolationsverstärkung gegen Sprungwellenbeanspruchung erhalten. Der dann mit wechselnder Sättigung arbeitende Haupttransformator muß etwas reichlicher bemessen werden.

Gleichrichter.

Neuerdings werden an Stelle von rotierenden Umformern Quecksilberdampf-Gleichrichter benutzt, die einen noch etwas höheren Wirkungsgrad besitzen und fast keiner Wartung bedürfen, da keine beweglichen Teile vorhanden sind.

Der Quecksilberdampf-Gleichrichter beruht auf der Ventilwirkung des Quecksilberlichtbogens, der in einem luftleeren Gefäß zwischen einer Kathode aus Quecksilber und einer Anode aus Eisen oder Graphit eingeleitet wird. Dieser Lichtbogen kann nur bestehen, wenn in seinem Ansatzpunkt auf der Quecksilberoberfläche Elektronen, die Träger negativer Elektrizität, in der Richtung auf die Anoden ausgesendet werden, was voraussetzt, daß das Quecksilber zur Kathode gemacht wird. Der umgekehrte Stromverlauf ist also nicht möglich, mithin wirkt der Quecksilberlichtbogen wie ein Ventil, das von einem angelegten Wechselstrom nur die Halbwellen einer Richtung durchläßt. Durch geeignete Schaltung kann man auch die anderen Halbwellen „umklappen“, d. h. in Gleichstrom von

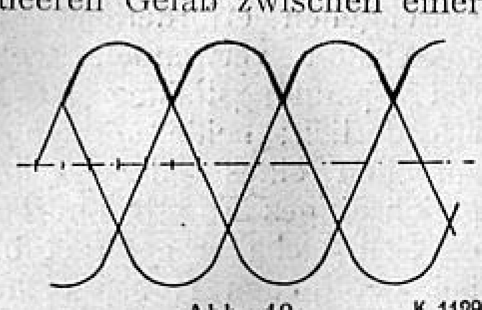
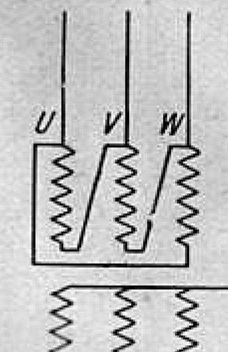


Abb. 49. K 1129
Spannungsverlauf im Quecksilberdampf-Gleichrichter.

derselben Richtung verwandeln; man erreicht dadurch, daß der Gleichstrom einigermaßen ausgeglichen wird, was durch Anwendung von Ueberlappungs-Drosselspulen noch weiter gefördert wird. Bei Drehstrom werden nur die Halbwellen einer Richtung zur Gleichstrombildung ausgenutzt, setzen sich aber infolge der verschobenen Phasen ebenfalls zu einem kontinuierlichen Gleichstrom zusammen (Abb. 49). Gleichrichter größerer Leistung baut man mit sechs Anoden mit dem Erfolg, daß die Welligkeit des umgeformten Gleichstromes noch mehr verschwindet und der Leistungsfaktor noch günstigere Werte annimmt.



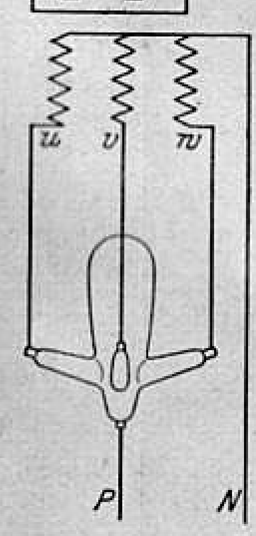
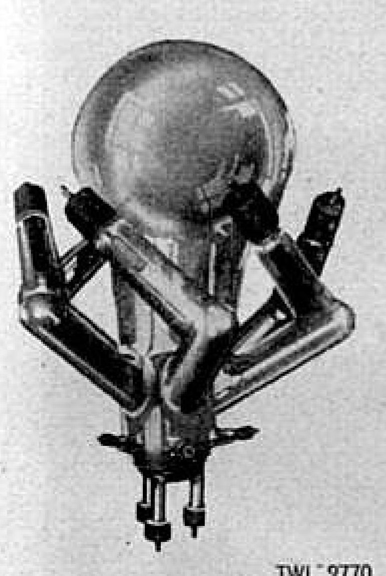


Abb. 50. K 1130
Grundsätzliche Schaltung eines Quecksilberdampf-Gleichrichters.

Die Kathode — im Gleichrichter der negative Pol — bildet für die Gleichstromanlage sinngemäß den positiven Pol. Der negative Pol der Gleichstromanlage ist mit dem Nullpunkt des Drehstrom- oder Wechselstromnetzes verbunden. Ein geschlossener Stromkreis verläuft infolgedessen von der Transformator-Sekundärseite abwechselnd über eine der Anoden des Gleichrichters, weiter über die Gleichstrom-Sammelschienen zu dem Nullpunkt zurück (Abb. 50). Dieser muß also die volle Stromstärke des Gleichstromes aufnehmen können und soll nicht geerdet sein, da er sonst auch das Gleichstromnetz einpolig erdet. Ist aus diesen Gründen ein Anschluß an ein Drehstromnetz nicht unmittelbar angängig, so ist ein besonderer Transformator aufzustellen, welcher Dreieck-Stern- oder Stern-Zickzack-Schaltung haben muß. Da die Anoden des Gleichrichters nicht während der ganzen Dauer einer Periode Strom führen, so wird das sekundäre Kupfer des Transformators ungünstig ausgenutzt, d. h. er wird sekundär größer als für normale Zwecke. Für den Transformator ist aus diesem Grunde eine Type erforderlich, die je nach der Ausführung des Gleichrichters (Nullpunktsbildung, Phasenzahl, Wirkungsgrad) dem 1,5- bis 1,3fachen der Gleichstromleistung entspricht.



TWL 2770
Abb. 51. Glaskörper mit sechs Anoden.

Die Verluste innerhalb des Gleichrichters setzen sich zusammen aus dem Spannungsabfall beim Stromübergang an Anode und Kathode und aus dem Spannungsabfall innerhalb der Gasstrecke. Der Verlust beträgt unabhängig von der Höhe der umgeformten Spannung ca. 15—20 Volt. Der Wirkungsgrad des Gleichrichters hängt also im wesentlichen von der abgegebenen Gleichstromspannung ab, ist dagegen in weiten Grenzen unabhängig von der entnommenen Stromstärke. In Gleichstrom-Dreileiternetzen erzielt man den höchsten Wirkungsgrad, wenn man den Gleichrichter auf die Außenleiter arbeiten läßt. Da aber der Gleichrichter die Spannungsteilung nicht selbst bewirken kann, muß dieses durch eine Akkumulatorenbatterie oder einen Ausgleichsmaschinensatz erfolgen. Gleichrichter können sowohl untereinander als auch mit Gleichstrom-Generatoren, Akkumulatoren-Batterien usw. parallel arbeiten.

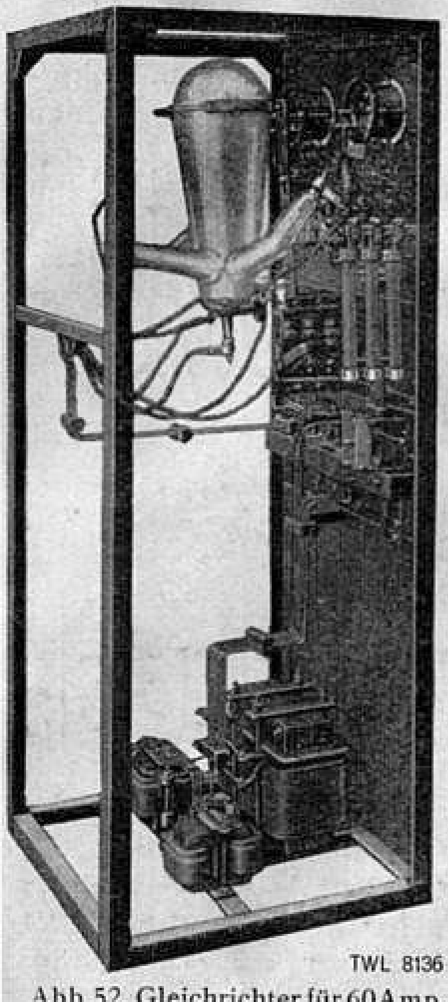


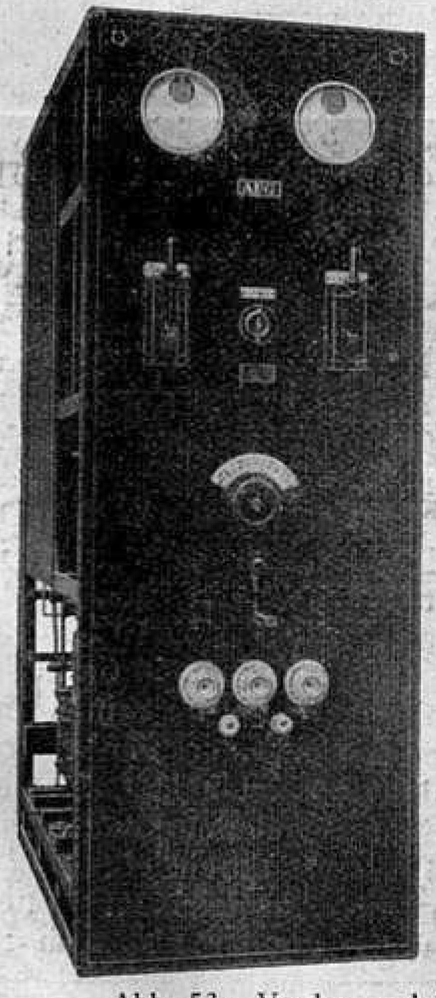
Abb.52. Gleichrichter für 60 Amp.

Die Inbetriebsetzung des Gleichrichters erfolgt durch Einleitung eines Hilfslichtbogens durch eine Hilfsanode.

Je nach der Leistung werden Quecksilberdampf-Gleichrichter mit Glaskörper oder mit Eisenkörper gebaut.

Gleichrichter mit Glaskörper sind vor etwa 15 Jahren in Europa in Fabrikation genommen worden und haben sich seitdem ein großes Anwendungsgebiet erobert. Die Leistung des Glaskörpers (Abb. 51) ist begrenzt durch die Temperatur, die er im Betrieb annimmt. Man ist infolgedessen dazu übergegangen, die Leistung durch künstliche Kühlung zu steigern. Unter Anwendung von Luftkühlung (mittels eines vom Belastungsstrom gesteuerten Ventilators) hat man Einheiten bis 250 Amp. ausgeführt. In neuester Zeit geht man zur Oelkühlung über und erreicht damit vorläufig Stromstärken bis zu 500 Amp., sowie kleinere Dimensionierung der Glaskörper als bei Luftkühlung.

Quecksilberdampf-Gleichrichter mit Glaskörper werden mit den erforderlichen Schalt- und Regelapparaten in einem Schaltgerüst fertig montiert geliefert, so daß die Aufstellung denkbar einfach ist. Der Betrieb erfordert keine Bedienung.



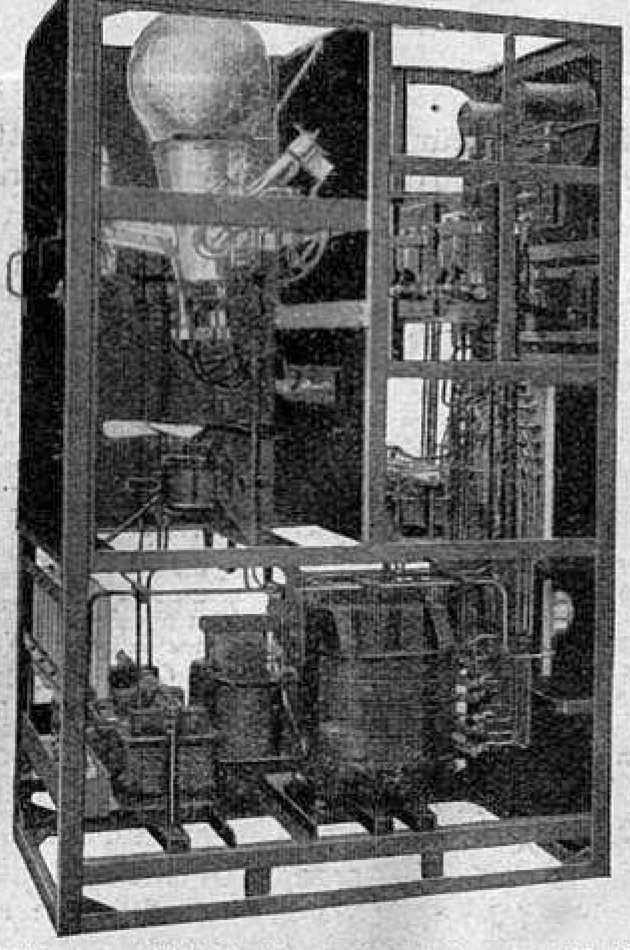


Abb. 53. Vorder- und Seitenansicht eines Gleichrichters für 250 Amp. TWL 2768

Der einzige Teil, der der Abnutzung unterliegt, ist der Glaskörper, dessen Lebensdauer durch allmähliches Nachlassen des Vakuums begrenzt ist, aber viele tausend Betriebsstunden beträgt. Die Gleichrichter werden für Wechselstrom für 5, 10, 20, 30 und 40 Amp., für Drehstrom von 30—500 Amp. (Abb. 52 und 53) hergestellt, wobei sie für alle gebräuchlichen Spannungen bei gleichbleibender Stromstärke verwendet werden können, also eine um so höhere Leistung umwandeln, je höher die Spannung ist. Ein Glas-Gleichrichter für 250 Amp. kann z. B. bei 250 Volt Gleichstromspannung eine Leistung von 62,5 kW abgeben, während er bei 500 Volt mit 200 Amp. entsprechend 100 kW belastet werden darf. Die abgegebene Gleichstromspannung steht in einem bestimmten Verhältnis zur zugeführten Drehstromspannung, und zwar muß die verkettete Drehstromspannung gleich 1,6mal der Gleichstromspannung + 28 Volt sein. Dies ergibt für 230 Volt Gleichstrom etwa 380 Volt Drehstrom und für 120 Volt Gleichstrom etwa 220 Volt Drehstrom.

Für größere Leistungen werden Eisengleichrichter verwendet, bei denen statt der Glaskolben Eisenzylinder benutzt werden und die Luftleere durch eine elektrisch angetriebene Luftpumpe erzielt wird. Diese Großgleichrichter werden für Stromstärken bis 1500 Amp. ausgeführt, und zwar mit sechs Anoden. Da bei noch größeren Leistungen die Stromdichte im Lichtbogen und damit auch der Spannungsabfall zu groß werden, so führt man diese Gleichrichter durch Parallelschalten von je 2 Anoden für zwölfanodigen Anschluß aus. Zu einem Großgleichrichter gehören Vakuumpumpe mit Vakuummeter, Quecksilberstrahlpumpe, Zündumformer und eine Reihe von anderen Nebenapparaten. Die Abb. 54 zeigt zwei Eisengleichrichter für je 500 Amp. 470 Volt Gleichstrom von 235 kW Leistung.

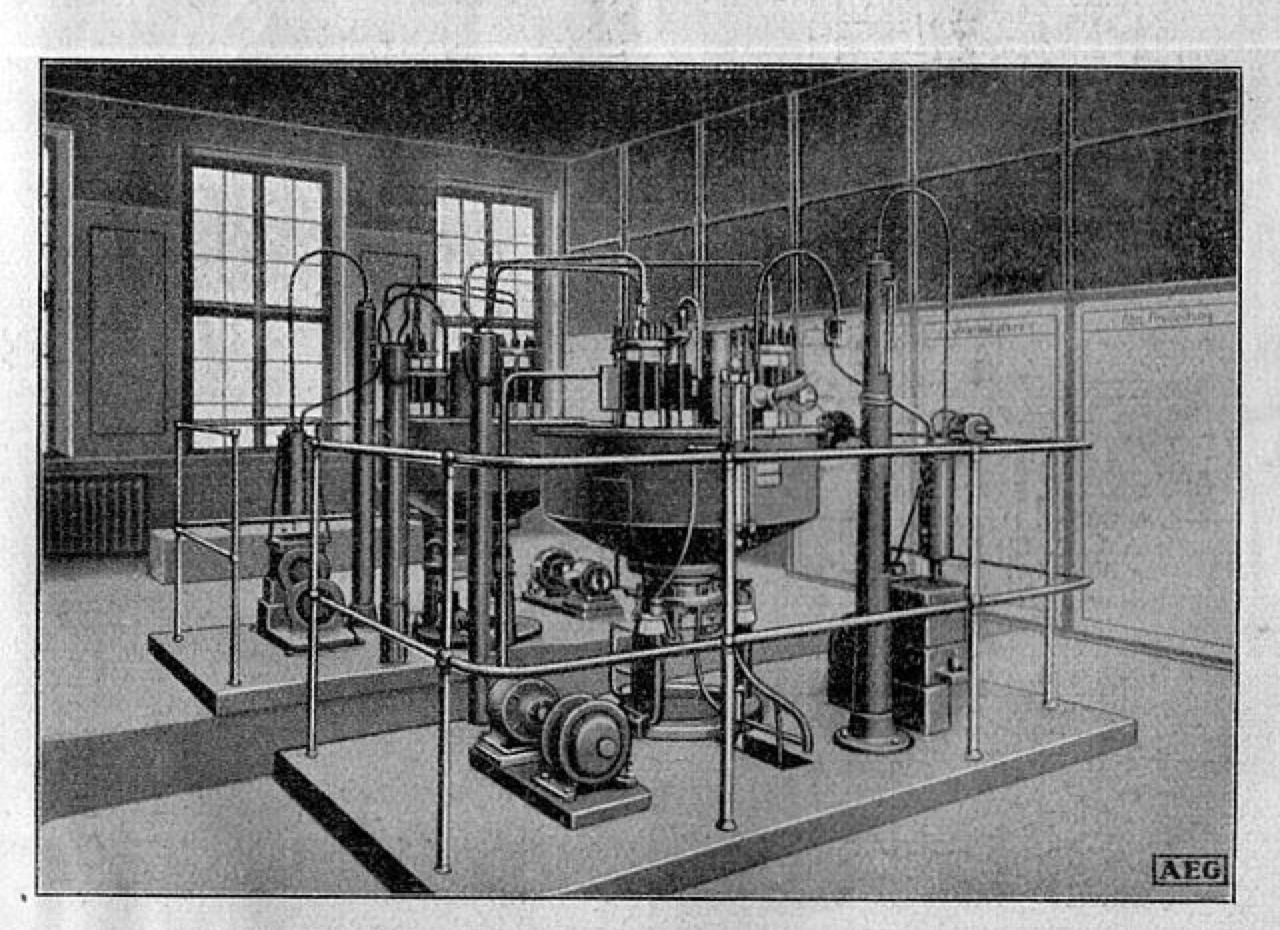
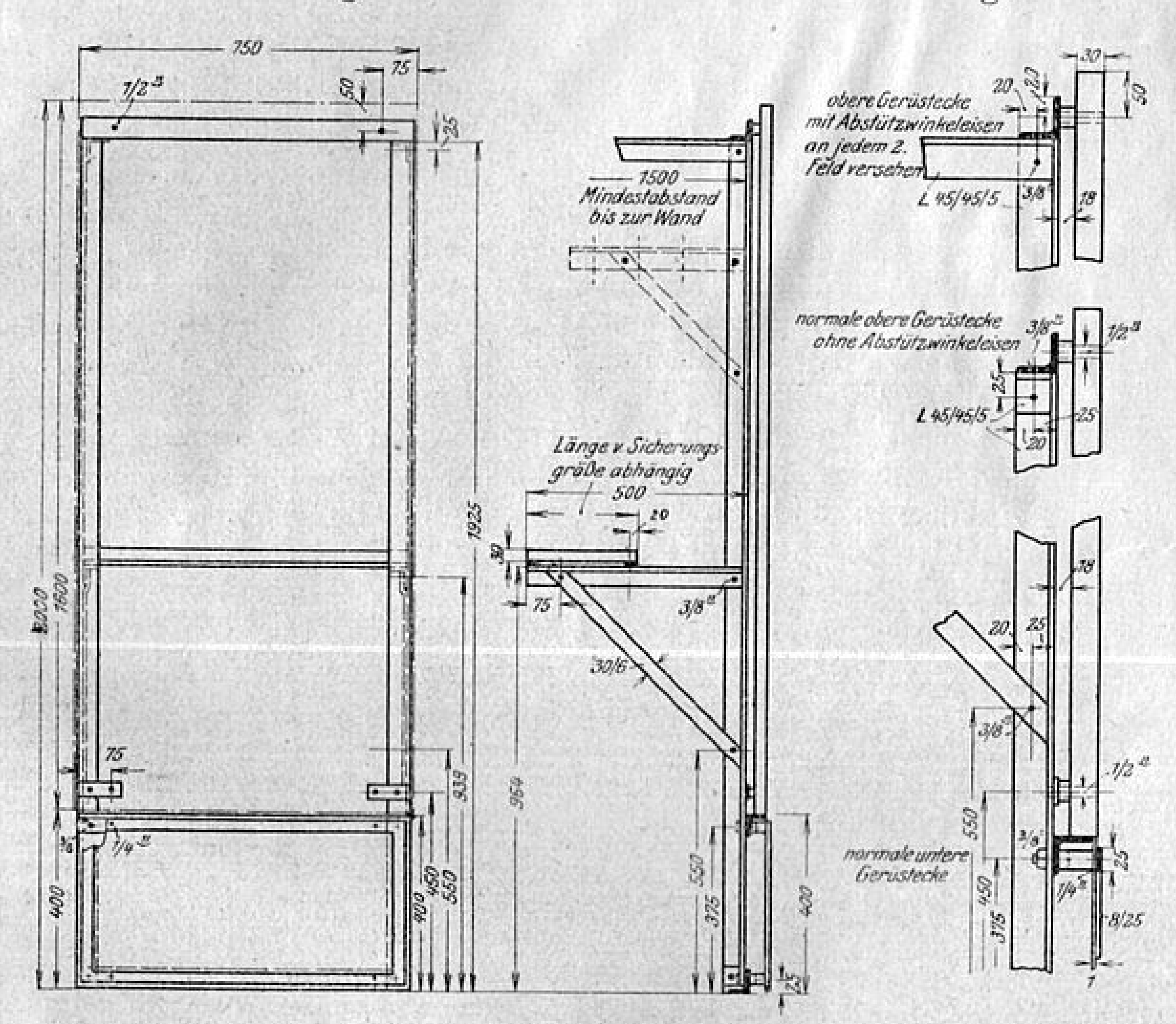


Abb. 54. Zwei Großgleichrichter je 500 Amp. 470 Volt Gleichstrom K 1131

VI. Schalttafeln.

Sie dienen zur Aufnahme aller derjenigen Apparate und Instrumente, mit welchen die von den Maschinen erzeugte elektrische Energie zusammengefaßt, geregelt, gemessen und zu den einzelnen Verbrauchern weitergeleitet wird. Aus diesem Grunde verlangt der Aufbau der Schaltanlagen größtmöglichste Betriebssicherheit, die durch gute Uebersichtlichkeit und weitgehendsten Ausbau in mechanischer und elektrischer Hinsicht erzielt wird. Beide Forderungen werden erfüllt durch die Unterteilung der Schalt-



Verwendetes Material:

L-Eisen 45 × 45 × 5 (3,38 kg/m)
Flacheisen 30 × 6 (1,413 kg/m)
Eisenblech 1 mm für Blechsockel
Formeisen 8 × 25 für Blechsockel
14 Schlitzschrauben 3/8" mit versenktem Kopf nebst Mutter, 20 mm lang
6 Schraubenbolzen mit Muttern 3/8", 20 mm lang
4 desgl. 1/2" mit vernickeltem Kopf für die Marmortafel
4 Distanzrohrstücke 1/2" Gasrohr f. d. Marmortafel
4 desgl. für den Blechsockel
4 Schlitzschrauben 1/4" für den Blechsockel
1 Marmortafel 1600 × 750 × 30 mm
1 Sicherungstisch aus Marmor, 30 mm stark
Nieten für die Befestigung des Formeisens auf dem Blechsockel
2 Steinschrauben 1/2", 120 mm lang

An der Seitenaußenkante steht die Marmortafel gegenüber dem Eisengerüst um 5 mm vor, um eventuelle Seitenblechverkleidungen noch zu decken. Die Schlitzschrauben werden an der Außenseite des Gerüstes und bei der Befestigung der Flacheisenlaschen des Sicherungstisches verwendet.

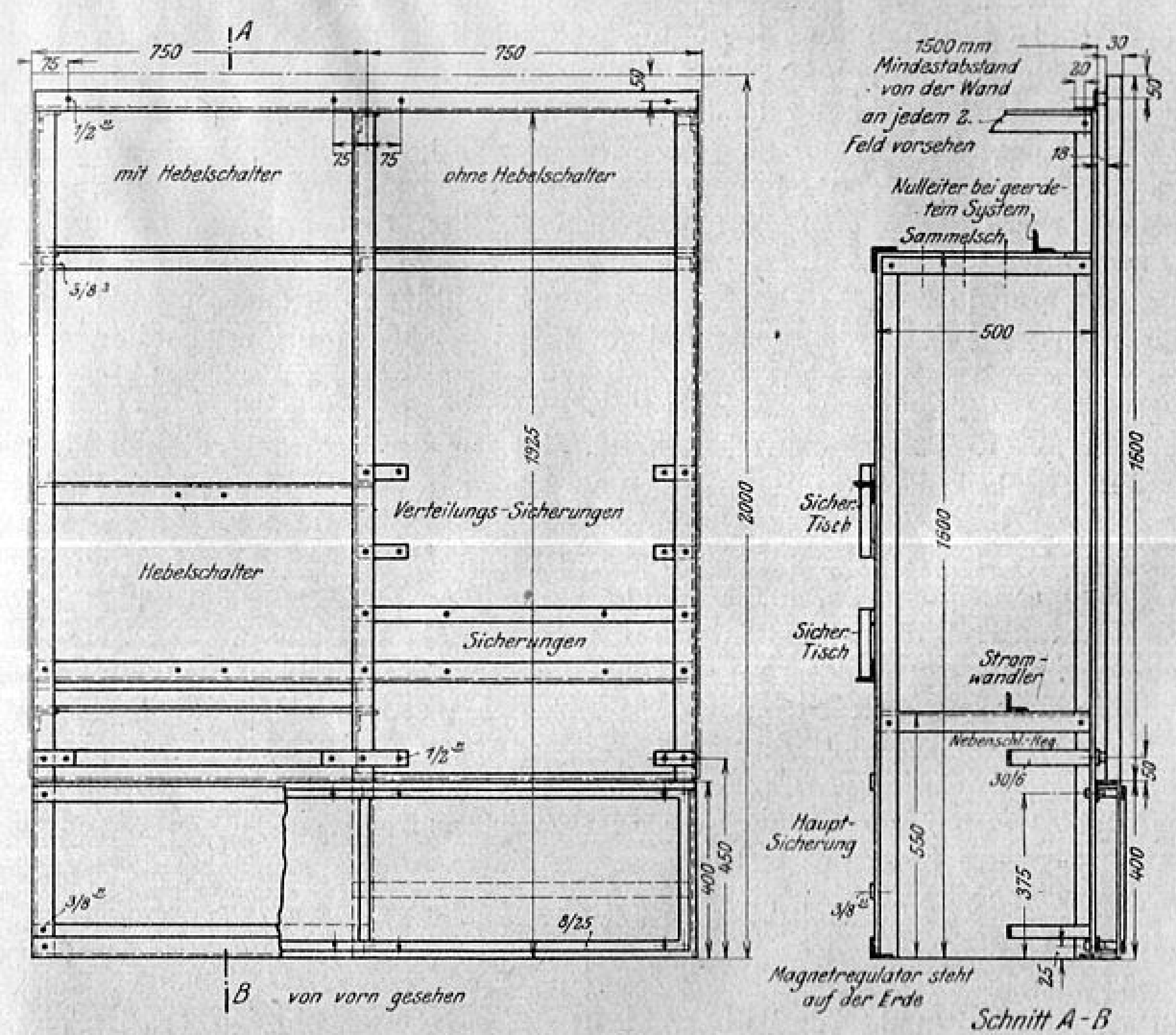
Abb. 55. Freistehendes Eisengerüst für Niederspannungstafeln, Hebelschalter auf der Vorderseite, wagerechter Sicherungstisch, ohne Stromwandler, eventuell mit Sammelschienen (gestrichelt).

tafel in einzelne Felder oder Paneele. Die einzelnen Paneele sollen möglichst die gesamten zu einem Stromerzeuger gehörigen Schalt-, Meß- und Regelapparate tragen. Batterien erhalten ebenfalls getrennte Paneele. Auch die Abzweige werden auf besonderen Feldern zusammengefaßt.

Die Anordnung der Schalttafeln in den Stationen ist durch die Raumverhältnisse bedingt. Die Aufstellung als freistehende oder in die Maschinenhauswand eingelassene Tafeln soll so erfolgen, daß die Schaltanlagen ein abgeschlossenes Ganzes bilden. Die Wahl des Aufstellungsortes ist auch dadurch bedingt, daß von ihr eine Uebersicht über das ganze Maschinenhaus gewährt und in Störungsfällen die Tafel leicht erreichbar sein muß.

Eisengerüst.

Die Ausführung des Eisengerüstes ist bedingt durch die Einteilung der Paneele, für deren Abmessungen sich nur Richtlinien geben lassen.



Verwendetes Material:

L-Eisen 45 × 45 × 5 (3,38 kg/m)
Flacheisen 30 × 6 (1,413 kg/m)
Eisenblech 1 mm für Blechsockel
Formeisen 8 × 25 für Blechsockel
20 Schlitzschrauben 3/8", 20 mm lang
40 Mutterschrauben 3/8", 20 mm lang
8 Steinschrauben 1/2", 120 mm lang
8 vernickelte Bolzen 1/2", 80 mm lang für die Marmortafeln
8 Distanzrohrstücke 1/2" Gasrohr f. d. Marmortafeln
8 desgl. für den Blechsockel
8 Schlitzschrauben 1/4" für den Blechsockel
2 Marmortafeln je 1600 × 750 × 30 mm
2 Sicherungstische aus Marmor, 30 mm stark
Nieten für die Befestigung des Formeisens auf dem Blechsockel

Abb. 56. Freistehendes Eisengerüst für Niederspannungstafeln, indirekte Hebelschalter, senkrechte Sicherungstische, Stromwandler und Sammelschienen.

Gebräuchlich sind Paneele von 750 mm Breite und 2000 mm Höhe. Abb. 55 zeigt ein Eisengerüst für diese Paneelgröße und zwar für vorderseitige Montage der Apparate unter Angabe der Abmessungen des zu verwendenden Eisens. Für Anordnung auf der Rückseite der Tafel dient die Konstruktion nach Abb. 56. Bei Anfertigung des Eisengerüstes in der Fabrik ist wegen der für den Versand erforderlichen Zerlegung die Bezeichnung aller Eisenteile mit Ziffern oder Buchstaben von Wichtigkeit, um einen schnellen Zusammenbau an Ort und Stelle zu ermöglichen. Genaue Stücklisten sind der Lieferung beizufügen. Möglichst sind nur Schraubverbindungen zu wählen. Der hinter der Tafel erforderliche freie Bedienungsgang muß nach den Errichtungsvorschriften des VDE. mindestens 1 m breit sein.

Schalttafelmaterial.

Gewöhnlich wird Marmor oder Schiefer (letzterer nur bis 220 Volt) verwendet, da nach den Errichtungsvorschriften des VDE. Apparate auf feuer-, wärme- und feuchtigkeitssicheren Körpern befestigt sein müssen. In Niederspannungsanlagen ist eine Montage stromführender Apparate auf der Vorderseite der Tafel zulässig, was am billigsten ist. Die Anordnung auf der Rückseite erhöht dagegen wesentlich die Uebersichtlichkeit und die Gefahrlosigkeit für das Bedienungspersonal. Dann ist die Verwendung von isolierendem Tafelmaterial nicht mehr unbedingt erforderlich. Daher werden statt der Marmortafeln vielfach gespannte Eisenblechplatten von 2 bis 3 mm Stärke verwendet, die aber lediglich als Verkleidung anzusehen sind.

Sammelschienen.

Um möglichst geringe Querschnitte für die Sammelschienen zu erhalten, ordnet man die Felder für Generatoren in der Mitte der Schaltanlage und die Verteilungsfelder gleichmäßig zu beiden Seiten an. Dadurch führt jeder Teil der Sammelschienen nur die für die betreffenden Abzweige erforderliche Stromstärke, so daß bei gleichmäßiger Verteilung der Querschnitt nur für die Hälfte des Gesamtstromes auszureichen braucht. Die Sammelschienen und Verbindungen dürfen höchstens mit den in nachstehender Tabelle angegebenen Stromstärken belastet werden. Bei günstigen Abkühlungsverhältnissen können die Werte um 10—15% überschritten werden. Verbindungsleitungen müssen einfach und übersichtlich angeordnet werden, damit alle auf der Rückseite untergebrachten Apparate gut zugänglich sind.

Belastung von blankem Flachkupfer.

Höchst-Belastung	Flachkupfer			Höchst-Belastung	Flachkupfer		
	Querschnitt	Maße	Gewicht		Querschnitt	Maße	Gewicht
Amp.	qmm	mm	pro m	Amp.	qmm	mm	pro m
60	16	2 × 8	0,144	600	250	5 × 50	2,25
100	30	2 × 15	0,27	850	420	7 × 60	3,78
150	45	3 × 15	0,405	1000	540	9 × 60	4,86
200	60	3 × 20	0,54	1500	900	10 × 90	8,1
270	100	4 × 25	0,9	2000	1320	12 × 110	11,88
350	150	5 × 30	1,35	2400	1400	2×10×70	12,6
475	200	5 × 40	1,8	3000	1800	2×10×90	16,2

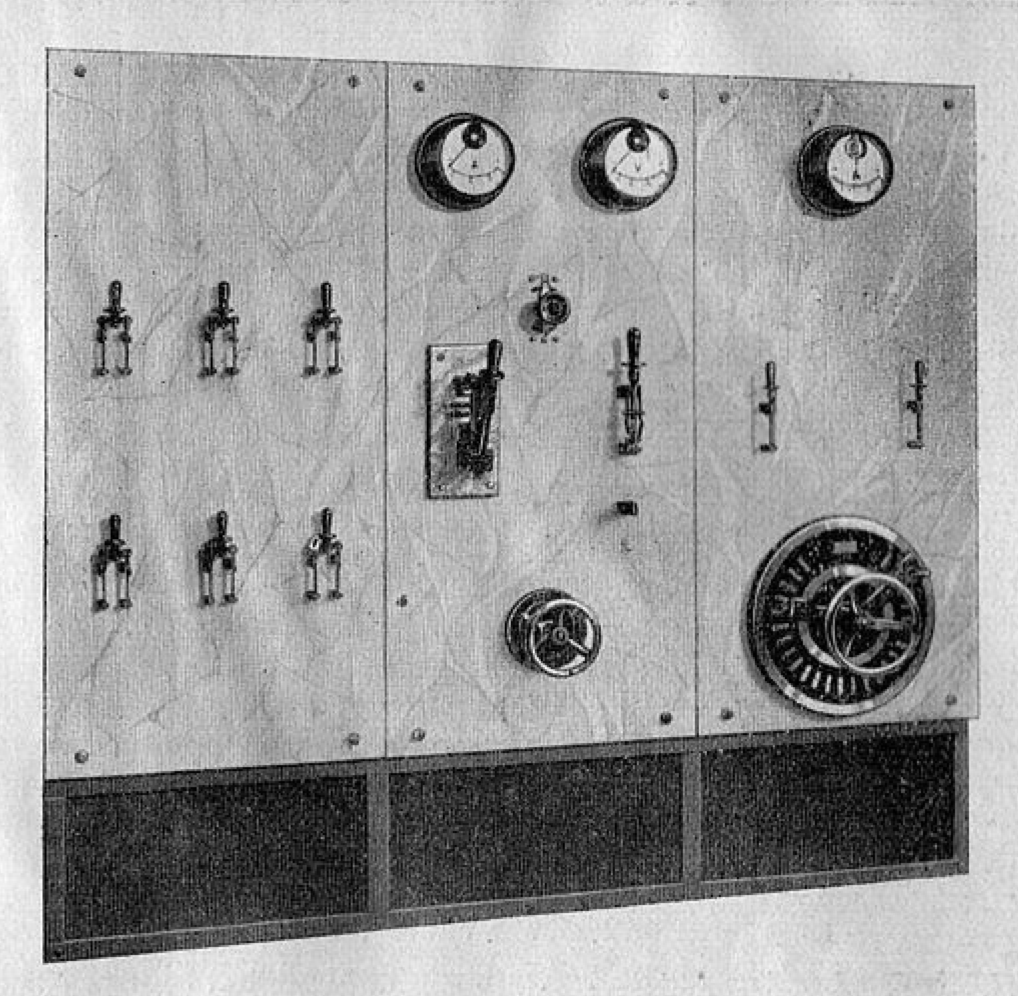


Abb. 57. Freistehende Schalttafel, fertig montiert. Vorderseite. K 1124

Abb. 58. Rückseite der Schalttafel Abb. 57. K 1135

Meßinstrumente.

Die billigste Ausführung der Meßinstrumente ist die hohe Form, welche unmittelbar auf die Tafel aufgeschraubt werden. Eine wesentlich bessere Ablesung und Wirkung der Tafel wird mit der flachen Form erzielt, bei der das Instrument versenkt angeordnet ist. Für freistehende Schalttafeln weniger üblich ist die Profilform, die fast ausschließlich für Schaltpulte verwendet wird. Der gebräuchlichste Grundplattendurchmesser der Instrumente ist 225 mm, für die Erregermaschinen von Drehstromgeneratoren gewöhnlich 130 mm oder 185 mm. Um die Instrumente gut ablesen zu können, werden sie in etwas über Augenhöhe (ca. 1800 mm) montiert.

Aufbau der Schaltapparate.

Hebelschalter und selbsttätige Schalter sind für vorder- oder rückseitige Montage lieferbar. Schutzkästen sind für Niederspannungsanlagen in elektrischen Betriebsräumen nicht erforderlich (Errichtungsvorschriften) Bei der Montage von Ueberstromschaltern ist zu beachten, daß der Raum oberhalb derselben frei bleibt, damit der beim Auslösen auftretende Lichtbogen keine Leitungen oder Apparate beschädigen kann. Selbstschalter für Generatoren sind stets mit den oberen Klemmen an das Netz anzuschließen. Die Schalter werden in handlicher Höhe (etwa 1300—1500 mm), montiert.

Aufbau der Sicherungen.

Für Stromstärken bis 200 Amp. sind möglichst Stöpselsicherungen mit zweiteiligen Stöpseln zu verwenden, die gewöhnlich auf der Vorderseite der Tafel montiert werden. Streifensicherungen sind dagegen nur rückwärtig auf besonderen Sicherungstischen anzuordnen. Die wagerechte Anordnung erhöht die Abschaltleistung, da das Abreißen des Lichtbogens mit größerer Sicherheit erfolgt; sie sollte daher möglichst angestrebt werden. Bei der senkrechten Anordnung ist die Gefahr, daß der Lichtbogen stehen bleibt, weit größer, läßt sich aber bei indirektem Antrieb der Schalter nicht vermeiden. Der Bau der Schalttafeln wird bei senkrechter Montage der Sicherungen zwar einfacher, andererseits leidet aber hierbei die Zugänglichkeit zu den Schraubenverbindungen. Es sollten nur einpolige Sicherungen verwendet werden, die in möglichst weitem Abstand voneinander zu montieren sind.

Einbau der Regelapparate.

Von den Nebenschluß- und Magnetreglern werden nur die Antriebe auf der Vorderseite der Schalttafel montiert, während die Widerstände selbst rückwärtig aufgestellt werden. Bei der Ausführung 202 sitzt das Handrad direkt auf der durch den Widerstand gehenden Welle, so daß eine genaue Montage erforderlich ist. Weniger Ansprüche hieran stellt die Ausführung 208, bei welcher der Handradantrieb und der Widerstand getrennt montiert werden und die Bewegungsübertragung mittels Kette erfolgt. Sie wird am meisten verwendet und gestattet eine Aufstellung des Widerstandes sowohl oberhalb als auch unterhalb des Schalttafelraumes als auch seitlich vom Antrieb. Die seitliche Anordnung ist vielfach bei Drehstromgeneratoren erforderlich, da sich hier zwei Antriebe auf einem Feld befinden. Die dritte Ausführungsart, 301, überträgt die Bewegung des Antriebes mittels Kegelrädern auf den Schleifkontakt des Widerstandes. Sie kommt seltener zur Anwendung und ist für Aufstellung des Widerstandes unterhalb der Schaltanlage geeignet.

HOCHSPANNUNGS-EINRICHTUNGEN

Nachstehend sind diejenigen Hochspannungseinrichtungen behandelt, welche im allgemeinen ohne Zuziehung von Hochspannungs-Fachingenieuren entworfen und montiert werden. In erster Linie sind dies Transformatorenstationen und deren Apparate, sodann die zugehörigen Leitungen. Auch hier ist vorausgesetzt, daß die Einzelleistung etwa 500 kW und die Spannung etwa 20 000 Volt nicht überschreitet.

I. Transformatoren.

Transformatoren sind ruhende Umformer, welche Drehstrom mit einer bestimmten zugeführten Spannung und Frequenz in solchen mit einer anderen Spannung, aber gleicher Frequenz umwandeln. Sie werden fast ausschließlich als Kerntypen hergestellt, deren Kerne in einer Ebene liegen. Zur genauen Einstellung der Unterspannung bei abweichender Oberspannung erhalten die Transformatoren zwei Anzapfungen auf der Oberspannungsseite, und zwar in der Nähe des Nullpunktes, Abb. 1. Die Enden der drei Wicklungen bzw. je drei gleiche Anzapfleitungen sind so an drei Kontakthülsen geführt, daß es nur nötig ist, in die eine oder andere Kontakthülse den einen zu jedem Transformator gehörigen Kontaktstöpsel zur Bildung des Nullpunktes einzusetzen. Dies erfolgt von außen mittels eines besonderen Steckschlüssels, darf aber nur bei abgeschaltetem Transformator vorgenommen werden. Die Transformatoren werden stets mit Oel geliefert, und zwar wird nur bestes Mineralöl, welches den technischen Bedingungen für Transformatoren und Schalteröl entspricht, verwendet. Anderes Oel zu verwenden ist unzulässig.

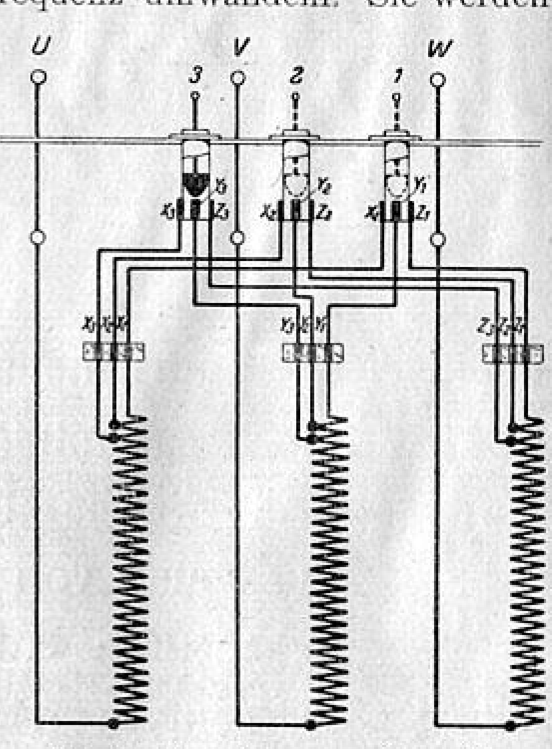


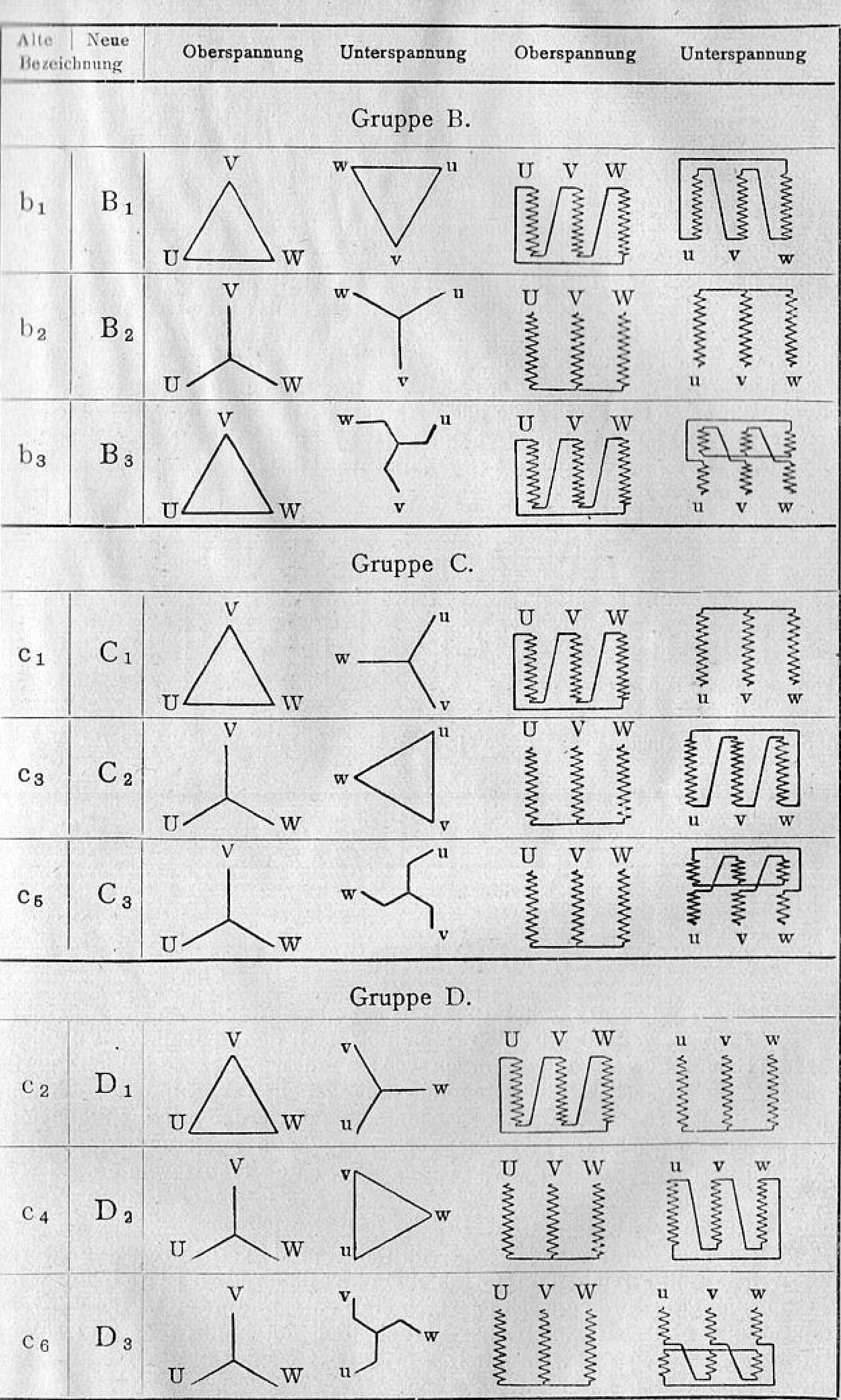
Abb. 1. Anzapfungen auf der Oberspannungsseite eines Transformators.
TWL 11217

Normale Schaltgruppen von Drehstrom-Transformatoren.

Nach den RET 1923.

Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Oberspannung	Unterspannung	Oberspannung	Unterspannung
Gruppe A.					
a_1	A_1	V U W	v u w	U V W	u v w
a_2	A_2	V U W	v u w	U V W	u v w
a_3	A_3	V U W	v u w	U V W	u v w

TWL 11218



Alte Bezeichnung	Neue Bezeichnung	Oberspannung	Unterspannung	Oberspannung	Unterspannung
Gruppe B.					
b_1	B_1				
b_2	B_2				
b_3	B_3				
Gruppe C.					
c_1	C_1				
c_3	C_2				
c_5	C_3				
Gruppe D.					
c_2	D_1				
c_4	D_2				
c_6	D_3				

TWL 11218

Transformatorentypen.

Man unterscheidet: Einheitstransformatoren, Hauptreihe Type HET 23
" Sonderreihe " SET 23
Transformatoren Type ODJ.

Einheitstransformatoren werden in größerer Anzahl einheitlich hergestellt und können daher nur für die hierfür genormten Spannungen geliefert werden. Sie besitzen stets zwei Anzapfungen, und zwar mit ± 4% Spannungsunterschied. Andere Anzapfungen sowie andere Kurzschlußspannungen als die für jede Type festgelegten werden nicht ausgeführt. Alle Einheitstransformatoren Type HET 23 und SET 23 werden oberspannungsseitig nur in Sternschaltung und unterspannungsseitig in Sternschaltung mit gering belastbarem Nullpunkt oder in Zickzackschaltung mit beliebig belastbarem Nullpunkt ausgeführt. Unterspannungsseitig können sie durch Klemmstücke an Ort und Stelle nach Anheben des Deckels ohne Schwierigkeiten von 400 Volt Zickzackschaltung (C 3) auf 231 Volt Sternschaltung (A 2 oder B 2) oder umgekehrt geschaltet werden. Die 12 Spulenenden der

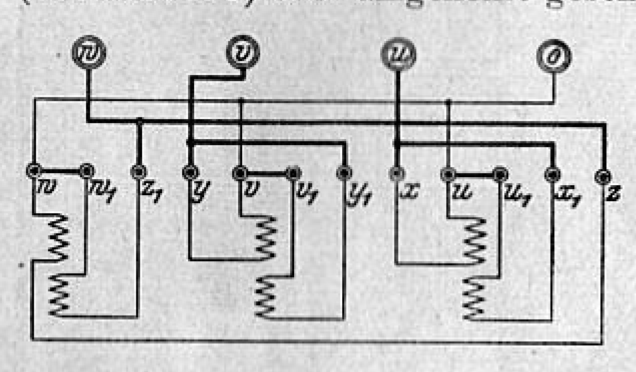


Abb. 2. Sternschaltung A 2, 231/133 Volt

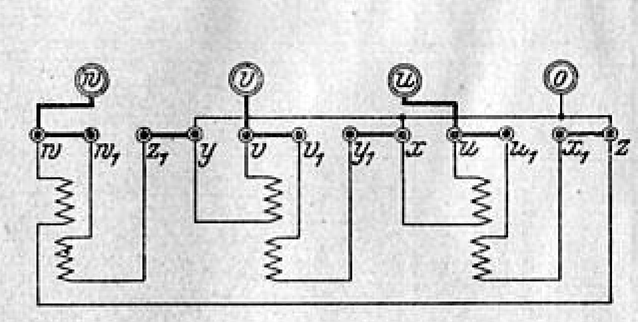


Abb. 3. Sternschaltung B 2, 231/133 Volt

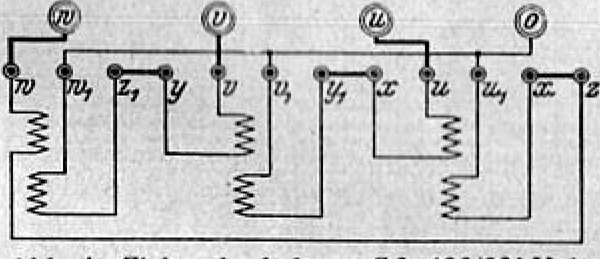


Abb. 4. Zickzackschaltung C 3, 400/231 Volt

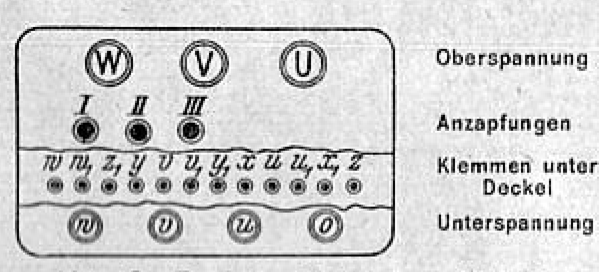


Abb. 5. Deckelaufsicht eines Einheitstransformators

TWL 11219

drei Phasen sind an 12 unter dem Deckel angeordnete Klemmen geführt, welche je nach der gewünschten Schaltung nach den in Abb. 2 bis 4 aufgeführten Schaltungsskizzen verbunden werden müssen. Es sind jedoch nur die zwischen und oberhalb der Klemmen angegebenen Verbindungen herzustellen. Die hierzu erforderlichen Klemmstücke werden nicht mitgeliefert. Die geänderte Schaltung ist zur Vermeidung von späteren Irrtümern in dauerhafter Farbe neben dem Leistungsschild des Transformators zu vermerken. Abb. 5 zeigt die Deckelaufsicht eines Einheitstransformators. Sie werden für Leistungen bis 100 kVA hergestellt.

Die Transformatoren der Hauptreihe sind verhältnismäßig wenig überlastbar und erreichen im allgemeinen bei dauerndem Betrieb mit ihrer Nennleistung die durch die RET festgelegte Temperaturgrenze. Ihr Verwendungsgebiet erstreckt sich daher vornehmlich auf industrielle und solche Betriebe, in denen sie während des größten Teils der Betriebsstunden mit ihrer Nennleistung ausgenutzt werden.

Die Transformatoren der Sonderreihe besitzen dagegen eine wesentlich größere Ueberlastbarkeit. Sie kommen infolgedessen für solche Betriebe (z. B. die Landwirtschaft) in Frage, in denen sie zwar dauernd unter Spannung stehen, aber nur verhältnismäßig kurze Zeit im Jahre stark beansprucht werden. Bei derartigen Betriebsverhältnissen wird ihr Jahreswirkungsgrad ihrer niedrigen Leerlaufsverluste wegen erheblich günstiger als bei den Transformatoren der Hauptreihe.

Transformatoren Type ODJ können für jede normale Schaltgruppe und sowohl für die genormten Spannungen als auch für andere Spannungen, welche jedoch innerhalb bestimmter Grenzwerte liegen, angefertigt werden. Sie können ebenfalls mit zwei Anzapfungen geliefert werden, jedoch sind die gewünschten Stufen bei Bestellung anzugeben. Die Oberspannungen können bis höchstens 10% überschritten werden, wobei die für die höchste Anzapfung benötigte Spannung einzurechnen ist. Für die Unterspannungen sind die oberen und unteren Grenzwerte für die einzelnen Leistungen verschieden und in der Preisliste angegeben. Die Kurzschlußspannungen sind denen der Einheitstransformatoren möglichst angepaßt. Diese Transformatoren werden für Leistungen über 100 kVA sowohl für genormte als auch für anormale Spannungen verwendet. Unter 100 kVA werden sie an Stelle von Einheitstransformatoren gewählt, wenn anormale Spannungen in Frage kommen.

Parallelbetrieb von Drehstrom-Transformatoren.

Drehstrom-Transformatoren können nur dann miteinander parallel arbeiten, d. h. ober- und unterspannungsseitig auf gleiche Netze geschaltet sein, wenn folgende Bedingungen erfüllt sind:

1. gleiche Schaltgruppen,
2. gleiches Uebersetzungsverhältnis,
3. gleiche Kurzschlußspannungen, die nicht mehr als ± 10% von ihrem Mittel abweichen (bei Einheitstransformatoren ist eine Abweichung von den für sie festgesetzten Werten um + 10 und — 20% zulässig),
4. soll das Verhältnis der Leistungen möglichst nicht mehr als 3 : 1 bei Dauerparallelbetrieb betragen.

Das Uebersetzungsverhältnis wird durch das Verhältnis der Oberspannung zur Unterspannung ausgedrückt und gilt für Leerlauf. Unter Kurzschlußspannung versteht man denjenigen Prozentsatz der Spannung auf der Oberspannungsseite, welcher nötig ist, um in der kurzgeschlossenen Unterspannungswicklung die normale Vollaststromstärke zu erzeugen. Hierbei kommen Werte zwischen etwa 2 und 5 Prozent in Frage, die für jeden Transformator nach seiner Konstruktion unabänderlich festliegen. Bei Bestellung von Transformatoren ist daher besonders anzugeben, ob und mit welchen Transformatoren ein Parallelbetrieb beabsichtigt ist. Einheitstransformatoren arbeiten unter sich ohne weiteres parallel, können aber für abweichende Kurzschlußspannungen nicht geliefert werden.

Wenn die Kurzschlußspannungen genau übereinstimmen, verteilt sich die Belastung im Verhältnis der Größe der Transformatoren, vorausgesetzt, daß die Transformatoren in unmittelbarer Nähe voneinander aufgestellt sind. Sollen zu älteren Transformatoren neue hinzugestellt und parallel geschaltet werden, so ist eine genaue Uebereinstimmung nicht immer leicht zu erreichen. Bei größeren Abweichungen müssen dem Transformator mit der kleineren Kurzschlußspannung besondere Drosselspulen vorgeschaltet werden, deren Größe durch die Differenz der Kurzschlußspannungen

bestimmt ist. Um aber zu beurteilen, ob Drosselspulen nötig sind, kann man berechnen, wie die Lasten bei abweichenden Kurzschlußspannungen auf die ungleichen Transformatoren verteilt sind. Der Transformator mit der größten Kurzschlußspannung übernimmt stets die kleinste Belastung.

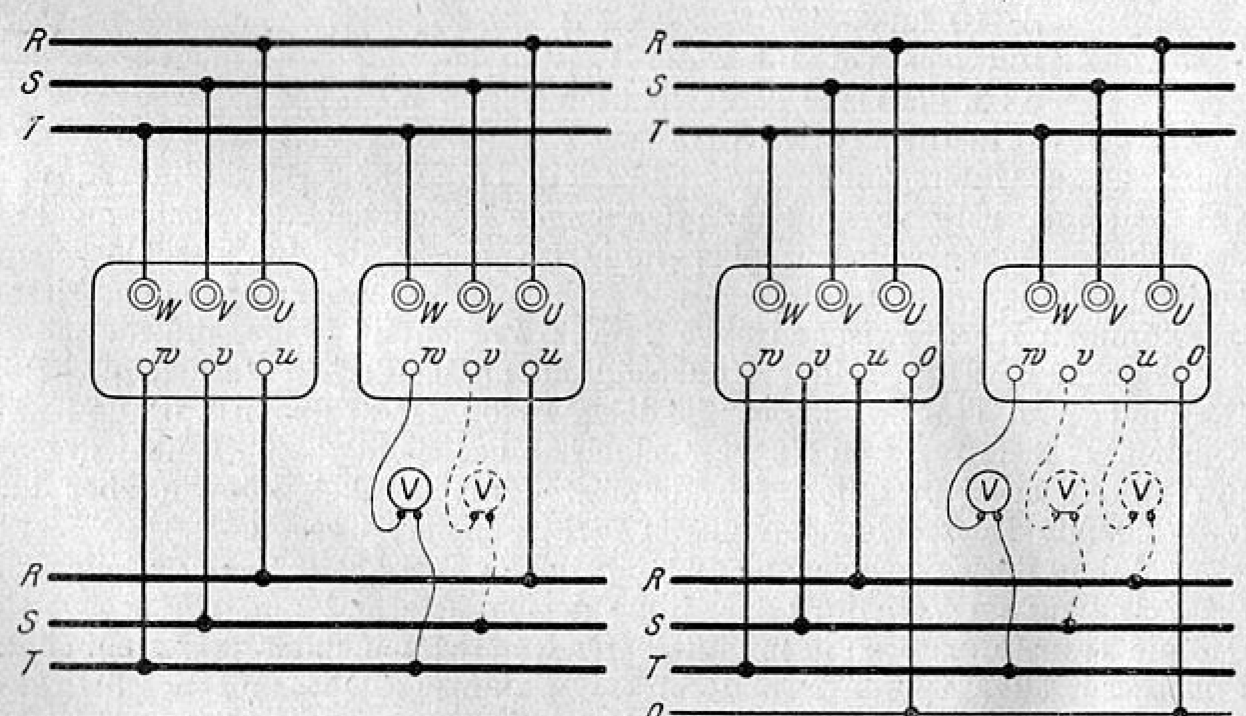
Haben z. B. 2 Transformatoren von je 100 kVA 3 bzw. 4 Proz. Kurzschlußspannung, so verteilt sich die Gesamtlast wie 1 : ³/₄, d. h. wenn der Transformator mit 3 Proz. Kurzschlußspannung 100 kVA aufgenommen hat, erhält der zweite erst 75 kVA, oder wenn 200 kVA aufgenommen werden sollen, müßte der erste 114,3 kVA, der zweite 85,7 kVA übernehmen. Der erste wäre also um 14,3 Proz. überlastet.

Kommen Transformatoren verschiedener Leistung und verschiedener Kurzschlußspannung in Frage, so ist die Rechnung unter Berücksichtigung der Leistung durchzuführen. Wenn z. B. ein Transformator von 150 kKA mit 3 Proz., ein zweiter von 100 kVA mit 3,5 Proz. und ein dritter von 50 kVA mit 2,5 Proz. zusammen arbeiten sollen, so würde, da der Transformator mit der geringsten Kurzschlußspannung zuerst voll belastet ist, die Verteilung wie folgt sein:

50 kVA Transformator	(2,5 Proz.)		= 50 kVA
100 „ „	(3,5 „)	$\frac{2,5}{3,5} \cdot 100 =$	71,43 kVA
150 „ „	(3 „)	$\frac{2,5}{3} \cdot 150 =$	125,00 kVA
			246,43 kVA

Sollte die Gesamtleistung von 300 kVA aufgenommen werden, so würde sich belasten der 50-kVA-Transformator mit ca. 61,00 kVA

„ 100 „ „	„ „	87,00 kVA
„ 150 „ „	„ „	152,00 kVA
		300,00 kVA



Schaltungen zum Ausprüfen der Phasengleichheit bei parallelgeschalteten Transformatoren. TWL 11220

Abb. 6. Für Anlagen ohne Nulleiter. Abb. 7. Für Anlagen mit Nulleiter.

Bei der Inbetriebsetzung parallelgeschalteter Transformatoren sind die mit gleichen Buchstaben versehenen Klemmen an die gleichen Sammelschienen anzuschließen. Da Verwechslungen zu Kurzschluß führen, muß stets vorher nachgeprüft werden, ob auch der Anschluß das richtige Ergebnis hat. Zu diesem Zweck wird auf der Unterspannungsseite zwischen den gleichnamigen Phasen eine Prüflampe oder ein Voltmeter angelegt. Beide müssen bei Anlagen ohne Nulleiter für die doppelte Betriebsspannung ausreichend sein, da diese bei fehlerhafter Schaltung auftreten kann. Hierbei müssen, wie Abb. 6 zeigt, beide Transformatoren in einer Phase miteinander verbunden sein, wenn zwischen den andern beiden gemessen wird. Wenn zwischen allen drei Paaren gleicher Klemmen keine Spannung herrscht, ist die Schaltung richtig.

In Anlagen mit Nulleiter ist das Ausprüfen der Phasengleichheit nach Abb. 7 vorzunehmen. Sowohl die Prüflampe als auch das Voltmeter müssen hierbei für die zwischen zwei Phasen herrschende Spannung bemessen sein. Es wird in diesem Falle der Nullpunkt der Transformatoren an die Nullschiene angeschlossen und dann zwischen den drei Phasen gemessen. Die Schaltung ist wieder dann richtig, wenn zwischen allen drei Paaren gleicher Klemmen keine Spannung herrscht.

Vorschriften für Transformatoren- und Schalteröle.

Nach den Festsetzungen des VDE.

1. Die Vorschriften treten am 1. Juli 1924 in Kraft.
2. Die Vorschriften unter 3 bis 6 beziehen sich sowohl auf neues als auf im Apparat angeliefertes Oel. Die Vorschriften unter 7 bis 9 beziehen sich lediglich auf neues Oel, die Vorschrift 10 bezieht sich auf ein dem im Betriebe befindlichen Transformator oder Apparat entnommenes Oel.
3. Als Mineralöle sollen für Transformatoren und Schalter nur Raffinate verwendet werden. Auf Schiefer- und Braunkohlenteeröle beziehen sich diese Vorschriften nicht.
4. Das spezifische Gewicht darf nicht weniger als 0,85 und nicht mehr als 0,95 bei 20° C betragen.
5. Der Flüssigkeitsgrad (Viskosität), bezogen auf Wasser von 20°, darf bei einer Temperatur von 20° C nicht über 8° Engler sein.
6. Der Flammpunkt, nach Marcussen im offenen Tiegel bestimmt, darf nicht unter 145° C liegen.
7. Der Stockpunkt des Schalteröles muß mindestens — 15° C betragen, der Stockpunkt des Transformatorenöles braucht nicht tiefer als bei — 5° C zu liegen.
8. Das neue Oel muß bei 20° C vollkommen klar sein, es muß frei sein von Mineralsäure. Der Gehalt an organischer Säure darf höchstens 0,2 berechnet als Säurezahl betragen. Der Gehalt an Asche darf 0,01% nicht übersteigen.
9. Das neue Oel muß praktisch frei von mechanischen Beimengungen sein.
10. Die Verteerungszahl des neuen ungekochten Oeles darf 0,2% nicht überschreiten.
11. Die dielektrische Festigkeit des dem im Betriebe befindlichen Transformator oder Apparat entnommenen Oeles soll, gemessen

nach den Prüfvorschriften, im Mittel 60 kV/cm nicht unterschreiten. Ist die dielektrische Festigkeit geringer, so muß das Oel gereinigt bzw. erneuert werden. Ergibt das Erhitzen des Oeles im Reagenzglase auf rd. 150° C das Vorhandensein von Wasser durch knackendes Geräusch, so erübrigt sich die Untersuchung der dielektrischen Festigkeit, und das Oel muß getrocknet werden.

Anmerkung: Unter neuem Oel (8, 9, 10) ist ein Oel zu verstehen, wie es in Kesselwagen oder Eisenfässern von der Raffinerie angeliefert wird. Die Anlieferung darf nicht in Holzfässern erfolgen.

Oeluntersuchung, Trocknung, Oelheizwiderstände.

Oeluntersuchung. Das Oel ist vor Inbetriebsetzung auf seinen Wassergehalt zu untersuchen. Zu diesem Zweck werden 5 bis 10 ccm Oel in einem Reagenzglas von 15—20 mm Weite über einer Flamme bis auf 130° C erhitzt. Reines Oel darf weder brausen noch schäumen. Auch darf sich kein Dampfniederschlag im freien Glasrohr bilden. Zeigt das Oel Feuchtigkeit, so muß es getrocknet werden.

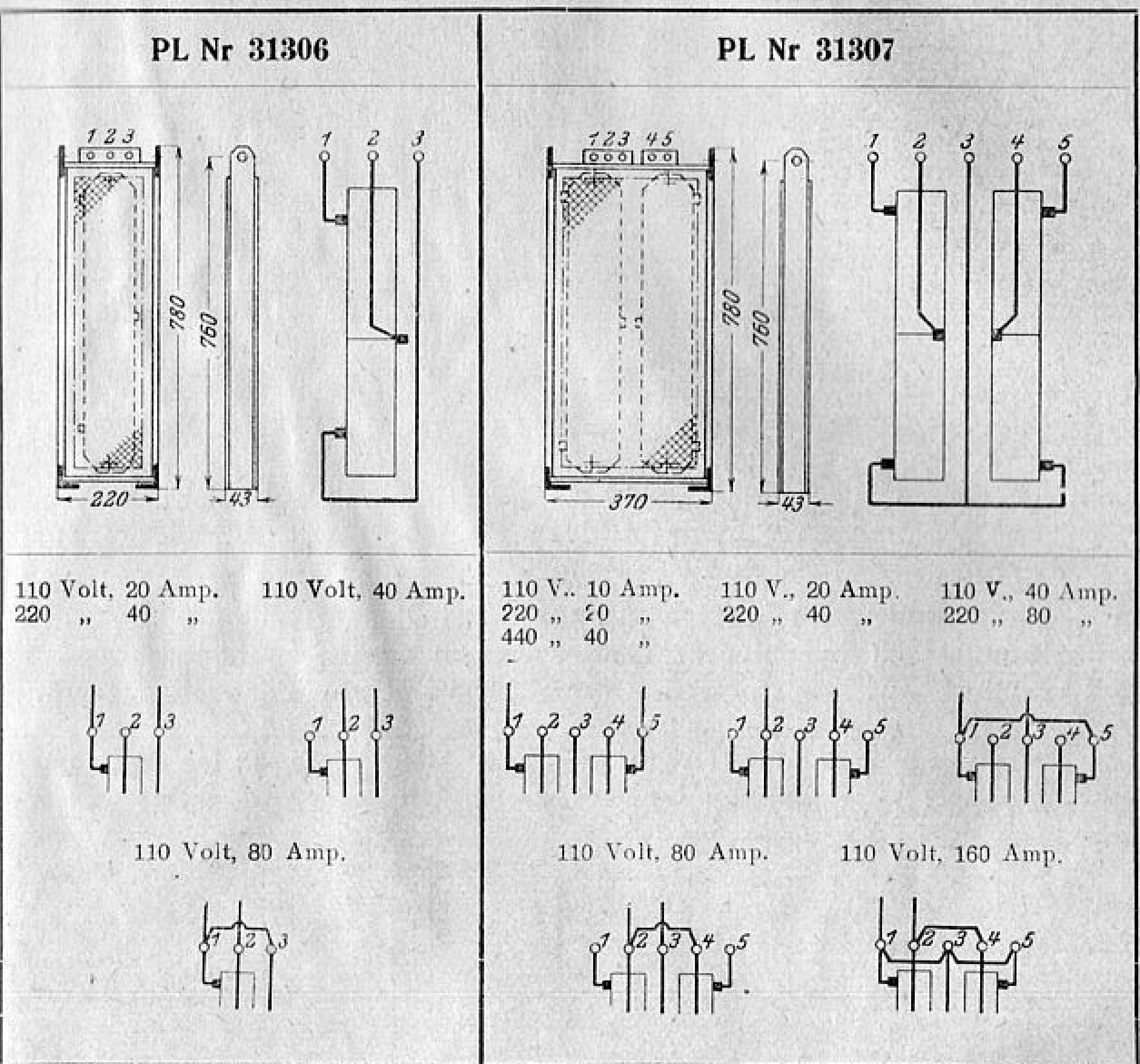
Trocknung. Die Trocknung erfolgt am besten durch Oelheizwiderstände bei zusammengesetztem Transformator, d. h. Kern und Oel im Kasten; diese Widerstände werden vorsichtig zwischen Kern und Kasten bis auf den Boden des letzteren hinabgesenkt und an eine entsprechende Stromquelle angeschlossen. Der Kasten ist außen mit Decken usw. zu umhüllen, um Kondensationserscheinungen zu verhindern. Bei denjenigen Typen, bei denen der Kern am Deckel hängt, muß zum Austrocknen der Kern ca. 10 cm angehoben werden, damit die Wasserdämpfe entweichen können. Bei anderen Typen genügt es, den Deckel anzuheben.

Die Temperatur des Oeles ist bis auf 110° C zu bringen und die Trocknung so lange fortzusetzen, bis sich keine Luftblasen an der Oberfläche mehr zeigen und das Oel bei wiederholter Untersuchung keine Feuchtigkeit aufweist.

Können Transformatoren, die ohne Oel versandt wurden, nicht unmittelbar nach Anlieferung getrocknet und in Betrieb genommen werden, so sind sie sofort mit Oel zu füllen, da längeres Lagern in Luft die Isolation schädigt. Bei Transformatoren, die betriebsfähig mit Oel versandt werden, wird in den meisten Fällen eine Trocknung unnötig sein, wenn sie unmittelbar nach Ankunft in Betrieb gesetzt werden können. Es ist jedoch jedesmal am Boden des Transformators eine Oelprobe zu entnehmen und durch Untersuchung festzustellen, ob Feuchtigkeit vorhanden ist. Bei Transformatoren von 60 000 Volt aufwärts ist in allen Fällen Trocknung vorzunehmen.

Oelheizwiderstände. Diese bestehen aus einem bzw. aus zwei Widerstandsfeldern, die in der Mitte unterteilt, in einen flachen Eisenrahmen eingebaut und an den Seiten mit perforierten Isolationsplatten bekleidet sind. Die Heizkörper sind derart in das Oel einzubringen, daß die Widerstände senkrecht hängen und stets ganz vom Oel bedeckt sind. Sie werden in zwei verschiedenen Größen angefertigt und können mit Hilfe der Klemmen durch Reihen- oder Parallelschaltung für die in den Schaltbildern auf der nächsten Seite angegebenen Spannungen verwendet werden.

Umschaltbarkeit der Oelheizwiderstände



K 1136

Zum Austrocknen des Oeles sind Oelheizwiderstände von passendem Leistungsverbrauch (Volt × Ampere) zu wählen, und zwar sind so viel Widerstände erforderlich, daß ihr Verbrauch in Prozenten der Leistung des Transformators in kVA etwa beträgt

5 % für Oeltransformatoren bis 50 kVA Leistung
4 % „ „ „ 200 „ „
3 % „ „ „ 500 „ „

Angenommen, es soll ein Transformator einer Leistung von 200 kVA ausgetrocknet werden. Zur Verfügung steht hierfür eine Stromquelle mit einer Spannung von 220 Volt. Da für diese Transformatorleistung die Größe der Oelheizwiderstände 4 % beträgt, so müssen sie einen Leistungsverbrauch von 0,04 × 200 = 8 kVA aufweisen. In Frage kommt also der Heizkörper PL Nr. 31306 mit 220 × 40 = 8800 Voltampere.

Behandlung von Transformatoren.

Auspacken, Untersuchung und Reinigung. Die mit Oelfüllung versandten Transformatoren sind vor Inbetriebsetzung nur daraufhin zu untersuchen, ob Beschädigungen durch den Transport vorgekommen sind.

Sind Kern und Kasten getrennt verpackt, so sind nach vorsichtiger Entfernung des Packmaterials alle Teile gründlich und vorsichtig zu säubern und nachzusehen. Schrauben sind zu untersuchen und gegegebenenfalls festzuziehen. Anschluß- und Verbindungsdrähte oder -Schienen sind auf ihre richtige Lage hin zu untersuchen.

Zu jedem Transformator, der umschaltbar oder für mehrere Uebersetzungsverhältnisse eingerichtet ist, wird ein Schaltungsschema geliefert, auf Grund dessen die Schaltung herzustellen ist. Bevor der Transformator angeschlossen wird, ist zu prüfen, ob das Uebersetzungsverhältnis, das bei Ablieferung des Transformators eingestellt wurde, auch den Bedürfnissen am Orte der Inbetriebnahme entspricht.

Die Wicklungen sind mit Galvanoskop oder Kurbelinduktor gegeneinander und gegen Eisen zu prüfen.

Aufstellung und Inbetriebnahme. Bei der Aufstellung der Transformatoren ist zu beachten, daß der Kasten allseitig genügend Abstand von Wänden usw. besitzt, so daß die Wärme gut von der Kastenwandung an die Luft abgegeben werden kann.

Trockentransformatoren müssen an staubfreien Orten aufgestellt und von Zeit zu Zeit, am besten mittels Druckluft, gereinigt werden.

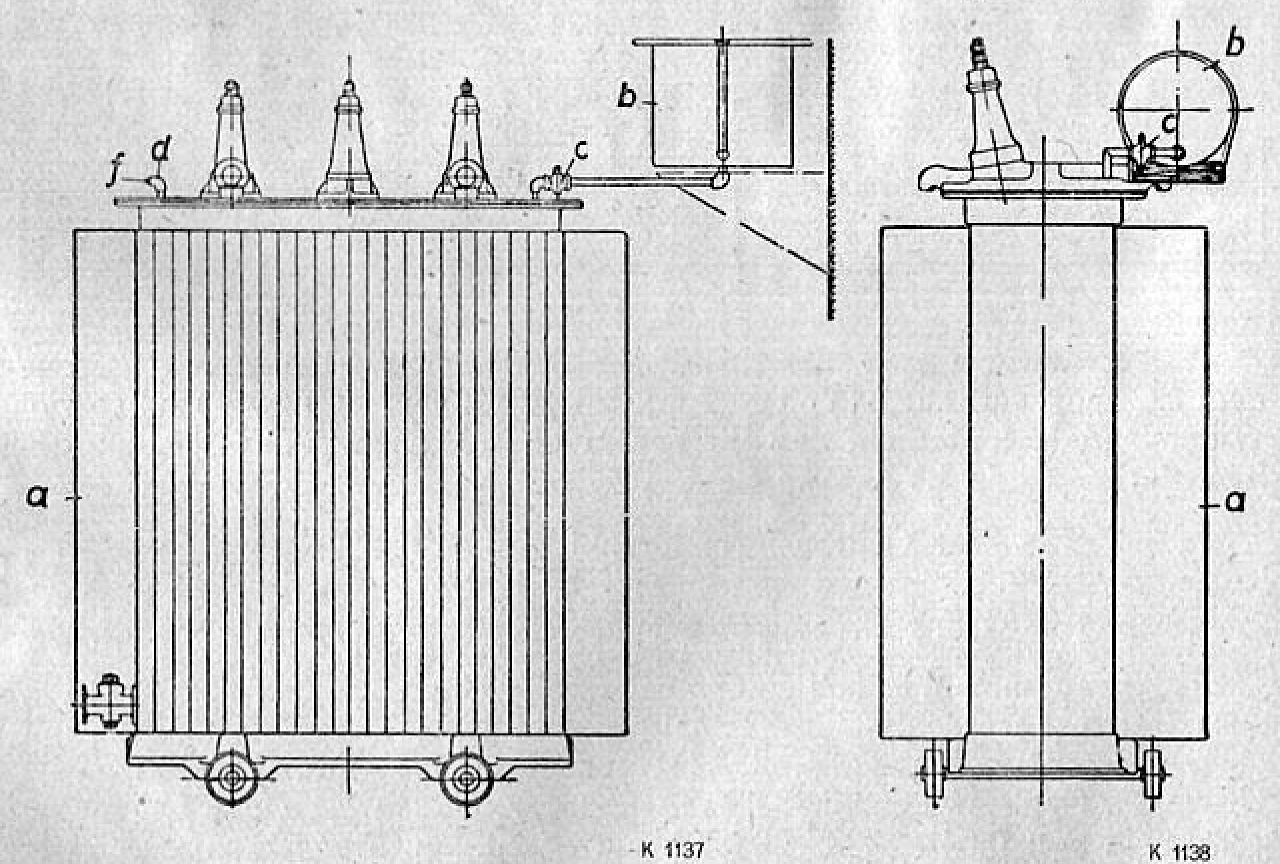


Abb. 8. Transformator mit getrennt montiertem Ausdehnungsgefäß.

Abb. 9. Transformator mit angebautem Ausdehnungsgefäß.

Der Transformatorraum ist gut zu lüften.

Bei Transformatoren mit Ausdehnungsgefäß (Abb. 8) muß der Boden des getrennt vom Transformator (a) angeordneten Ausdehnungsgefäßes (b) ca. 50

bis 120 mm höher liegen als der Deckel des Transformators. Bis etwa 300 kVA ist das Ausdehnungsgefäß unmittelbar an den Transformator angebaut (Abb. 9).

Vor Inbetriebnahme ist festzustellen, ob das Oel bis zur Marke des niedrigsten Oelstandes bzw. bis zur Oelprobierschraube im Transformator oder Ausdehnungsgefäß angefüllt ist, und ob der Hahn c in der Verbindungsleitung zwischen Kasten und Ausdehnungsgefäß offen ist. Er ist nur während des Umschaltens zu schließen. Der Krümmer d muß natürlich geschlossen sein; er wird auch dazu benutzt, das Ausdehnungsgefäß auf der entgegengesetzten Seite anzuordnen. Bei Transformatoren ohne Ausdehnungsgefäß sind Entlüftungsstutzen e (Abb. 10) auf dem Deckel des Oelkastens angebracht, die dauernd geöffnet bleiben müssen.

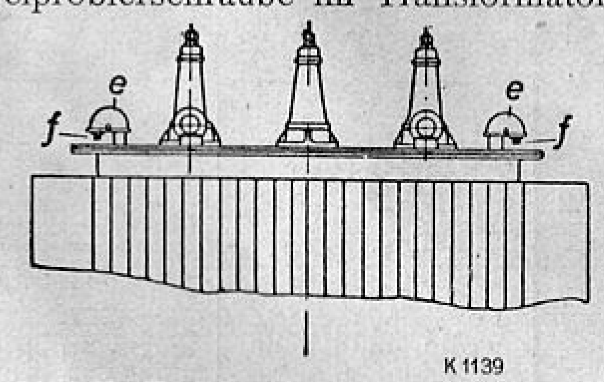


Abb. 10. Transformator ohne Ausdehnungsgefäß. Entlüftungsstutzen e müssen stets offen sein.

Wartung. Der Oeltransformator bedarf während des Betriebes keiner Wartung. Von Zeit zu Zeit ist am Oelablaßhahn eine Oelprobe zu entnehmen, um den Grad der Trübung festzustellen. Spätestens nach 1—2 Jahren ist es geraten, den Kasten zu öffnen und Oel und Transformator von etwaigen Oelrückständen zu reinigen. Dabei ist den Ursachen der Schlammbildung nachzugehen. Es sind dies neben zu hoher Temperatur vielfach Fremdkörper, wie z. B. Blei oder die Folge von Kondensationserscheinungen, welche auf Feuchtigkeit des Oeles zurückzuführen sind und bei fehlendem Ausdehnungsgefäß durch Ermöglichung einer Luftzirkulation über dem Oelspiegel beseitigt werden können. Gleichzeitig ist zu kontrollieren, ob sich der Spulenaufbau oder sonstige Teile des Transformators gelockert haben.

Höchstzulässige Temperaturen und Ueberlastbarkeit der Transformatoren.

Nach den RET 1923.

Höchstzulässige Temperaturen. Es wird angenommen, daß die Temperatur der Umgebung (Raumtemperatur) 35° C nicht überschreitet. Die in nachstehender Tabelle angegebenen Temperaturen dürfen dann in keinem Fall überschritten werden.

Die Erwärmung von Kupferwicklungen wird aus der Widerstandszunahme nach folgender Formel berechnet:

$$t = \frac{R_{warm} - R_{kalt}}{R_{kalt}} (235 + T_{kalt}) - (T_{Kühlm.} - T_{kalt}).$$

Hierin bedeutet:

t	die Erwärmung in °C,
R_{kalt}	den Widerstand der kalten Wicklung,
R_{warm}	„ „ „ warmen „
T_{kalt}	die Temperatur der kalten Wicklung,
$T_{Kühlm.}$	„ „ des Kühlmittels.

Die Messungen der Widerstandszunahme sind unmittelbar nach dem Ausschalten vorzunehmen.

Höchstzulässige Temperaturen für Transformatoren.

Reihe	Transformatorenteile		Höchste Temperatur	Höchste Erwärmung über der Raumtemperatur	Meßverfahren
1	Wicklungen, isoliert durch Faserstoffe, z. B. Papiere, ungebleichte Baumwolle, natürliche Seide, Holz	Ungetränkt	85° C	50° C	Errechnet aus Widerstandszunahme
2		Ungetränkt, jedoch Spule getaucht	85° C	50° C	
3		Getränkt	95° C	60° C	
4		Imprägniert oder in Füllmasse	95° C	60° C	
5		In Oel	105° C	70° C	
6	Präparate aus Glimmer oder Asbest		115° C	80° C	
7	Rohglimmer, Porzellan oder andere feuerfeste Stoffe		5° mehr als Reihe 1—6		
8	Einlagige blanke Wicklungen		5° mehr als Reihe 1—6		Thermometer
9	Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen		Wie andere Wicklungen bei Messung durch Widerstandszunahme		
10	Eisenkern	bei Trockentransformat.	95° C	60° C	
11		bei Oeltransformatoren	105° C	70° C	
12	Oel in der obersten Schicht		95° C	60° C	
13	Alle anderen Teile		Nur beschränkt durch benachbarte Isolierteile		

Ueberlastbarkeit. Ohne die in obiger Tabelle zusammengestellten höchstzulässigen Grenzwerte von Temperatur und Erwärmung zu überschreiten, dürfen Transformatoren im Anschluß an einen zehnstündigen Betrieb mit halber Nennleistung wie folgt überlastet werden:

a) Transformatoren der Hauptreihe Type HET 23 und Type ODJ
mit 30% auf 1 Stunde oder
„ 10% „ 3 Stunden,

b) Transformatoren der Sonderreihe Type SET 23
mit 110% auf 1 Stunde oder
„ 75% „ 3 Stunden oder
„ 60% dauernd oder
„ 100% auf 12 Stunden tägl. während einiger Wochen im Jahre.

II. Oelschalter.

Auswahl der Oelschalter.

In Hochspannungsanlagen mit 1000 Volt oder mehr genügen nicht mehr normale Hebelschalter, da sich beim Ausschalten oder bei Kurzschlüssen infolge der hierbei auftretenden Ueberspannungen Lichtbogen bilden können, die gewöhnlich zu einem Verbrennen des Schalters oder zu einem Kurzschluß führen. Daher sind Oelschalter zu verwenden, bei denen die Schaltmesser in einem mit Oel gefüllten eisernen Kasten untergebracht sind, so daß beim Ausschalten sofort Oel zwischen die Kontakte tritt. Hierdurch wird die Bildung eines Lichtbogens unmöglich gemacht.

Serien.

Bei der Bestimmung der Oelschaltertype ist zu beachten, daß Oelschalter und andere Hochspannungsapparate neben der Abstufung der Spannung und Stromstärke noch nach Serien bezeichnet sind. Für die einzelnen Serien sind nach den Richtlinien des V.D.E. bestimmte Abschaltleistungen vorgeschrieben, so daß bei der Auswahl außer der Betriebsspannung der am Ort der Verwendung mögliche Kurzschlußstrom zu berücksichtigen ist. Dieser ergibt sich aus der Leistung der Stromerzeuger der betreffenden Anlage und den elektrischen Widerständen vom Aufstellungsort der Oelschalter bis zu den Stromerzeugern, ist also für Apparate, welche nicht bei der Stromerzeugung selbst benutzt werden, von der Größe der Gesamtanlage abhängig. Die Abschaltleistungen der Schalter zeigt nachstehende Tabelle

Serie	Abschaltbarer Kurzschlußstrom in Amp. bei Volt:				
	3000	6000	12000	15000	35000
I	2000				
II	6000	2000			
III		6000	1500		
IV			4500	1000	
V				2000	1000

Werden Schalter höherer Serien für geringere Spannungen benutzt als in der Tabelle angegeben, so kann bis zu einer Mindestspannung von 6000 Volt der Kurzschlußstrom umgekehrt proportional der Spannung vergrößert werden. Unter 6000 Volt erlaubt die Verringerung der Spannung keine erhebliche Vergrößerung des abschaltbaren Kurzschlußstromes.

Vorstufen-Oelschalter.

Diese besitzen einen in den Oelkasten eingebauten und auf einem Asbestgewebe aufgebrachten Metallwiderstand (Abb. 11). Der Strom wird beim Einschalten erst über diesen Widerstand geführt, bevor er in voller Stärke durch die Hauptkontakte geleitet wird. Diese Schalter sind erforderlich zur Unterdrückung von Ueberstrom- und Ueberspannungserscheinungen, und zwar für:

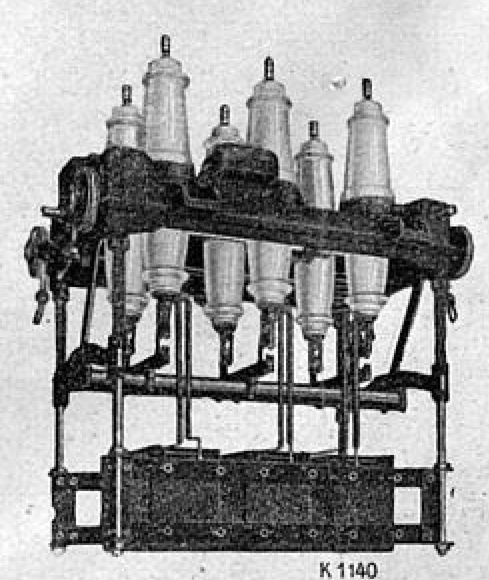


Abb. 11. Vorstufenölschalter mit eingebautem Widerstand.

1. Transformatoren von etwa 500 kVA ab, aufwärts,
2. Asynchronmotoren von etwa 100 PS ab aufwärts,
3. Kabel für mehr als 15 kV Betriebsspannung,
4. Freileitungen für mehr als 10 kV Betriebsspannung, welche als Speiseleitungen dienen, und für Freileitungen für mehr als 35 kV Betriebsspannung überhaupt.

Zur Bestimmung der Widerstände ist die Angabe der Motor- bzw. Transformatorleistung und bei Kabeln bzw. Freileitungen die Länge und der Ladestrom pro Phase bei der Betriebsspannung erforderlich.

Auslösearten.

Während das Einschalten der Oelschalter meist von Hand erfolgt, kann das Ausschalten von Hand oder durch selbsttätig wirkende Auslöser geschehen. Diese können entweder direkt durch den hochgespannten Strom oder bei Verwendung von Meßwandlern durch deren Sekundärstrom betätigt werden. Man unterscheidet hiernach folgende Arten von Auslösern:

a) direkt aufgebaute Auslöser,
b) Auslösemagnete Type Mz und Md zum Anschluß an Stromwandler,
c) Auslösemagnete Type II und III in Verbindung mit Relais und Stromwandlern (Relaisauslösungen).

Die Auslösungen werden gewöhnlich 2phasig gewählt, können aber auch 3phasig angeordnet werden, wenn zu befürchten ist, daß die dritte Phase durch Erschluß allein überlastet werden könnte. Stets wird Freiauslösung angeordnet, welche das Handrad bei selbsttätiger Ausschaltung entkuppelt und so das Wiedereinschalten verhindert, solange die Ursache der Auslösung fortbesteht.

Direkt aufgebaute Auslöser.

Oelschalter mit direkter Ueberstromauslösung kommen vor allem für Verbraucher und Anlagen geringer Ausdehnung in Frage. Sie stellen die einfachste und billigste Art der Auslösung dar, da weder Stromwandler noch eine unabhängige Stromquelle erforderlich sind. Wie Abb. 12 zeigt, sind die direkt von dem hochgespannten Betriebsstrom durchflossenen Auslöser auf die Isolatoren des Oelschalters aufgesetzt und wirken vermittels Isolierstangen auf eine am Oelschalterdeckel angebrachte Verklinkung. Die Konstruktion beruht auf der Anziehung eines Ankers, welcher bei Auslösern ohne Zeiteinstellung bei Ueberschreitung des eingestellten Ueberstromes eine sofortige Auslösung bewirkt.

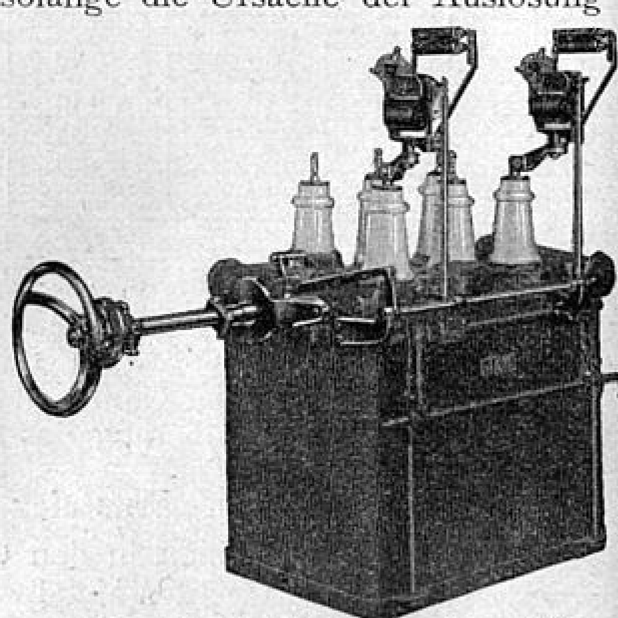


Abb. 12. Oelschalter mit aufgebauter, direkter Ueberstrom-Zeitauslösung. K 1141

Besitzt der Auslöser Zeiteinstellung (Abb. 13), so wird nach Anziehung des Ankers zunächst ein Uhrwerk in Tätigkeit gesetzt, nach dessen einstellbarer Ablaufzeit erst die Auslösung erfolgt. Sinkt der Strom vor Ablauf dieser Zeit wieder unter den eingestellten Wert, so geht der Anker in seine Ruhelage zurück, und die Auslösung erfolgt nicht. Bei sehr starken Überströmen (etwa fünffachem Normalstrom) erfolgt die Auslösung augenblicklich.

Abb. 13. Strom- und Zeiteinstellung der direkt wirkenden Ueberstrom-Auslöser.

Die Auslöser werden nur für folgende Dauerströme gewickelt: 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 75, 100, 125, 160, 200, 265, 350, 450, 600 Amp. Die Auslöser sind für einen Auslösestrom zwischen 100% und 200% des jeweiligen Betriebsstromes einstellbar, doch muß der Auslösestrom mindestens das 1,4fache des jeweiligen Betriebsstromes betragen.

Beispiel: Ein Auslöser mit einer Spule für 160 Amp. Dauerstrom kann für Betriebsströme bis 160 Amp. und Auslöseströme von 160—320 Amp. verwendet werden.

Bei dem geringsten Auslösestrom von 160 Amp. darf der Betriebsstrom höchstens 160 : 1,4 = 114 Amp. betragen.

Bei dem höchstzulässigen Betriebsstrom von 160 Amp. muß der Auslösestrom mindestens 160 × 1,4 = 224 Amp. gewählt werden.

Näheres über die Einstellung von Strom und Zeit siehe unter Behandlung von Oelschaltern.

Die Oelschalter können außerdem mit einem angebauten Nullspannungsmagneten ausgerüstet werden, der beim Sinken der Spannung auf etwa 60% des normalen Wertes Ausschaltung bewirkt. Da er nur für Spannungen bis 250 Volt gewickelt wird, ist für höhere Spannungen ein Spannungswandler erforderlich.

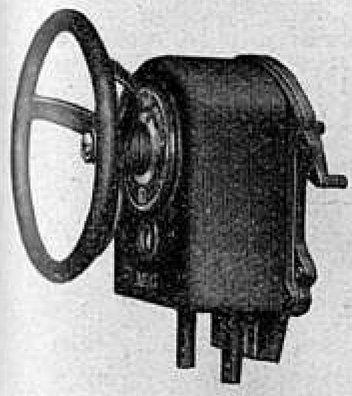


Abb. 14. Ueberstrom-Auslösemagnet Type Mz (zweipolig)

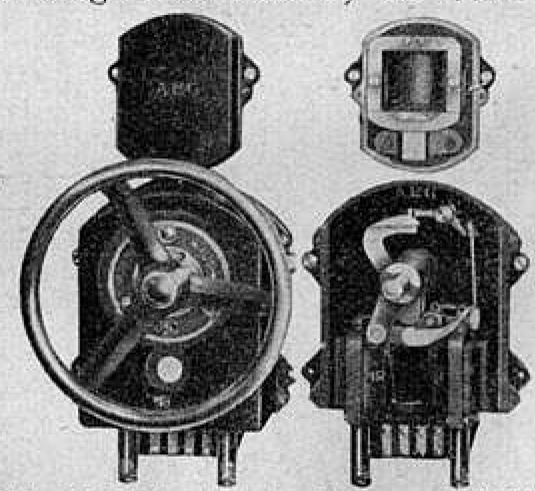


Abb. 15. Ueberstrom-Auslösemagnet Type Mz mit Nullspannungsmagnet.

Auslösemagnete Type Mz und Md.

Auslösemagnete Type Mz (zweipolig) und Md (dreipolig) sind

indirekte Auslöser, die für Betätigung durch den Betriebsstrom (Wechselstrom) zum Anschluß an Stromwandler gebaut sind (Abb. 14). Es dürfen nur Stromwandler mit einer zulässigen Belastung von 6 Volt bei 50 Perioden, Type P oder UA verwendet werden. Der Anschluß von Instrumenten ist nur bei Verwendung von Zeitsicherungen gestattet.

Bei der **sofort wirkenden** Ueberstromauslösung nach Abb. 16 sind die Spulen entsprechend der Sekundärwicklung des Stromwandlers für 5 Amp. Betriebsstrom bemessen. Mittels einer Skala am Gehäuse der Magnetkerne ist der Auslösestrom von 5—10 Amp. einstellbar. Die entsprechenden Primärströme werden durch Multiplikation mit dem Uebersetzungsverhältnis des Stromwandlers errechnet.

Da die Magnete selbst keine Verzögerungseinrichtung besitzen, wird die **verzögerte** Ueberstromauslösung erst durch Parallelschaltung von Zeitsicherungen zu den Magnetwicklungen erreicht (Abb. 17). Die Spulen werden hierbei für 2,5 Amp. bemessen. Die Zeitsicherungen dürfen nur bis 90% des Grenzstromes (Dauerstrom) belastet werden. Ueber die Wahl der Zeitsicherungen gibt folgendes Beispiel Aufschluß:

Beispiel: Ein Transformator für eine Leistung von 600 kVA, Oberspannung 6000 Volt, Primärstromstärke 57,8 Amp., soll mit voller Leistung gesichert werden. Es sind, der Betriebsspannung von 6000 Volt entsprechend, Stromwandler Type PF 2 für 75/5 Amp. erforderlich. Der Betriebsstrom auf der Sekundärseite der Stromwandler ist demnach $\frac{57{,}8 \cdot 5}{75} = 3{,}85$ Amp. Die Zeitsicherungen sind also für 5 Amp. zu wählen.

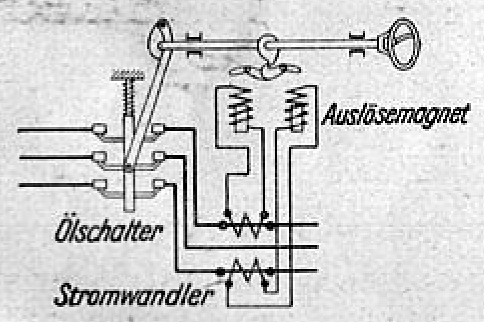


Abb. 16. Zweiphasige Ueberstromauslösung (Mz) ohne Zeitsicherungen.

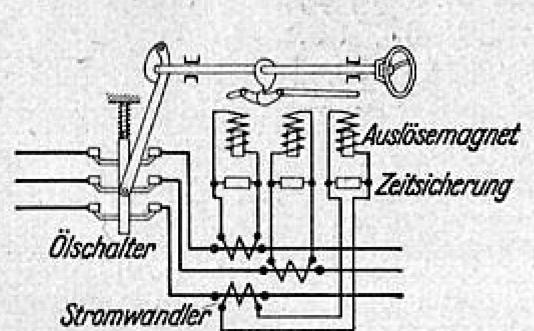


Abb. 17. Dreiphasige Ueberstromauslösung (Md) mit Zeitsicherungen.

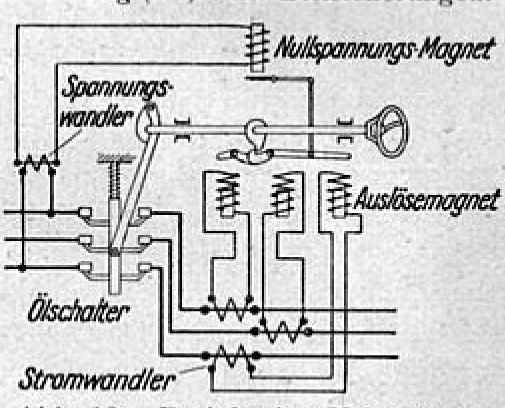


Abb. 18. Dreiphasige Ueberstromauslösung (Md) ohne Zeitsicherungen mit Nullspannungsmagnet.

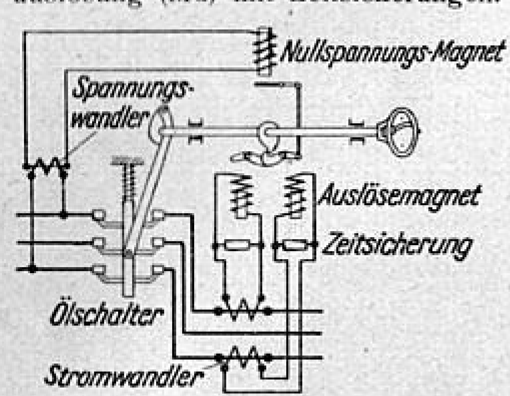


Abb. 19. Zweiphasige Ueberstromauslösung (Mz) mit Zeitsicherungen und Nullspannungsmagnet. TWL 11221

Sowohl die sofort als auch die verzögert wirkenden Auslösemagnete können mit einem unabhängig von der Ueberstromauslösung wirkenden Nullspannungsmagneten geliefert werden (Abb.15). Der Oelschalter schaltet dann sowohl bei Ueberstrom als auch bei Sinken der Spannung auf etwa 60% aus. Für Spannungen über 250 Volt ist ein besonderer Spannungswandler erforderlich. Die Schaltung mit Nullspannungsauslösung zeigen Abb. 18 u. 19.

Relaisauslösungen.

Wegen ihrer präzisen Arbeitsweise kommen diese Auslösungen in größeren Zentralen und Verteilungspunkten verzweigter Netze oder auch in kleineren Anlagen dann in Frage, wenn auf absolut genaues Auslösen Wert gelegt wird. Die Relais haben entweder

Arbeitskontakt (Abb. 20), wenn sie den Stromkreis des Auslösemagneten im gegebenen Augenblick schließen, oder

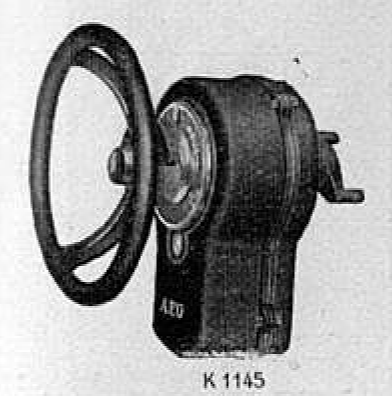
Ruhekontakt (Abb. 21), wenn sie diesen Stromkreis öffnen.

In Verbindung mit Relais werden Auslösemagnete

Type II für Oelschalter mit und ohne Vorstufe bis 24000 Volt und 600 Amp. und

Type III für alle Oelschalter höherer Spannungen und Stromstärken verwendet.

Die Magnete für Arbeitsstrom sitzen unterhalb der Handradwelle (Abb. 22), für Ruhestrom oberhalb derselben (Abb. 23).



K 1145

Abb. 22. Auslösemagnet für Arbeitsstrom.

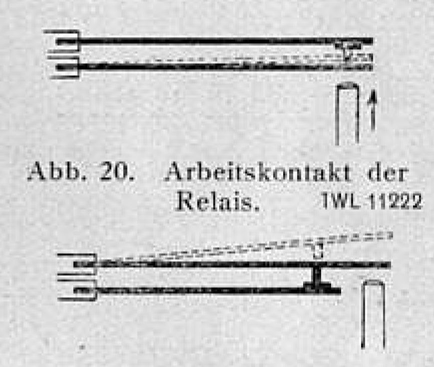
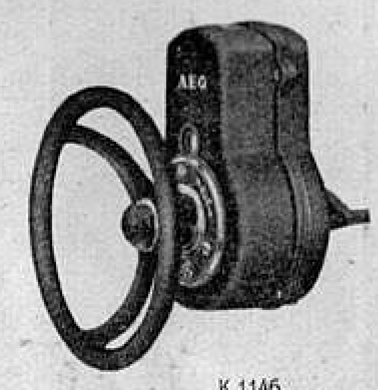


Abb. 20. Arbeitskontakt der Relais. TWL 11222

Abb. 21. Ruhekontakt der Relais. TWL 11222



K 1146

Abb. 23. Auslösemagnet für Ruhestrom.

Auslösungen mit Ruhestrom unter Benutzung der Betriebsspannung des eigenen Netzes sollten nur angewendet werden, wenn die Beschaffung einer unabhängigen Stromquelle nicht möglich ist. Nachteilig bei dieser Schaltung ist, daß bei starken Kurzschlüssen und dem dadurch hervorgerufenen starken Fallen der Betriebsspannung die Auslösemagnete in Wirkung treten, bevor die Ueberstromrelais angesprochen haben. Ferner können bei einem langsamen Fallen der Spannung die Auslösungen versagen, da sich in solchem Falle der Eisenkern im Magneten allmählich senkt und die lebendige Kraft desselben dann nicht mehr groß genug ist, das Klinkwerk des Schalters auszulösen. Daher sollten möglichst nur Auslösungen mit Arbeitsstrom verwendet werden, bei denen die Betätigung durch eine unabhängige Stromquelle erfolgt, z. B. eine Akkumulatorenbatterie oder ein fremder ununterbrochen zur Verfügung stehender Netzanschluß.

Die Magnetspulen der Auslösemagnete für Arbeitsstrom werden normal für 110 Volt Gleichstrom gewickelt, können aber auch bis maximal 250 Volt Gleichstrom oder Wechselstrom bei 25—60 Perioden oder für Schwachstrom (Batterie von ca. 20 Mammutelementen) geliefert werden.

Die Magnetspulen der Auslösemagnete für Ruhestrom werden normal für 110 Volt Wechselstrom, Frequenz 50, auf Wunsch auch bei 25 Perioden bis 460 Volt, 40 Perioden bis 550 Volt, 50 und 60 Perioden bis 600 Volt gewickelt. Erfolgt die Unterbrechung durch Relais, so darf die Auslösespannung 250 Volt bei 25—60 Perioden nicht überschreiten. Um Funkenbildung an den Kontakten der Relais zu verhüten, ist der Auslösemagnet mit einer Kontakt-

vorrichtung versehen, die den Magnetstrom unterbricht. Der Wattverbrauch der Auslösemagnete für Ruhestrom beträgt bei 110 oder 220 Volt 50 Perioden für

Type II etwa 45— 55 Voltampere
Type III „ 106—107 „

Die hauptsächlich zur Verwendung kommenden Arten von Relais sind aus folgender Tabelle ersichtlich. Sie können mit Arbeitskontakt oder mit Ruhekontakt geliefert werden. Die Unterschiede in der Bauart der Relais gehen aus den Abb. 26 – 31 hervor.

Relais.

Schutzart	Ausführung		PL Nr bei Perioden 15-25	PL Nr bei Perioden 25-40	PL Nr bei Perioden 40-60	Abb.
Ueberstrom	Sofort wirkende Relais	normale Ausführung		69043		26
		mit gesperrtem Arbeitskontakt*		69044		26
	Abhängige Zeitrelais	Type A (Auslösezeit sinkt schnell mit wachsendem Strom	69005b	69005a	69005	27
		Type B (Auslösezeit umgekehrt proportional dem Strom)	—	69007		28
	Unabhängige Zeitrelais	Type UMZ mit Zeitmagnet für Gleichstrom		69036G		29
		desgl. und mit Einstellung von außen		69036Ga		29
Rückstrom	Zeitrelais für Drehstrom		69006a	69006		30
Nullspannung	Sofort wirkendes Relais			69003		26
	Zeitrelais			109229		31

* Der Kontakt wird bei Ueberstrom durch ein Fallgewicht geschlossen. Das Gewicht muß von Hand wieder in die Arbeitslage gebracht werden.

In nachstehender Tabelle (Seite 106 und 107) sind die in der Praxis am meisten zur Anwendung kommenden Arten von Relaisauslösungen unter gleichzeitiger Angabe des erforderlichen Zubehörs zusammengestellt. Die Querschnitte der Verbindungsleitungen müssen für Spannungsleitungen mindestens 2,5 qmm und für Stromleitungen mindestens 4 qmm sein.

Die Relaisauslösungen können sowohl bei Arbeitsstrom als auch bei Ruhestrom für Fernauslösung benutzt werden, indem in den Stromkreis des Auslösemagneten Druckknopfschalter mit eingeschaltet werden. Es ist zu verwenden bei Auslösemagneten

für Arbeitsstrom Druckknopfschalter PL Nr 17526 (Schaltung Abb. 24)
„ Ruhestrom „ „ 17528 („ „ 25)

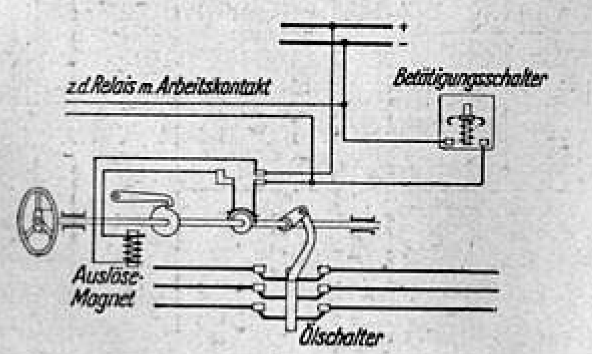


Abb. 24. Anschluß eines Betätigungsschalters für Arbeitsstrom. TWL 11223

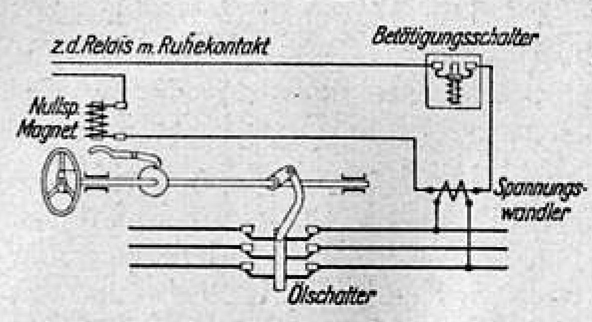


Abb. 25. Anschluß eines Betätigungsschalters für Ruhestrom. TWL 11223

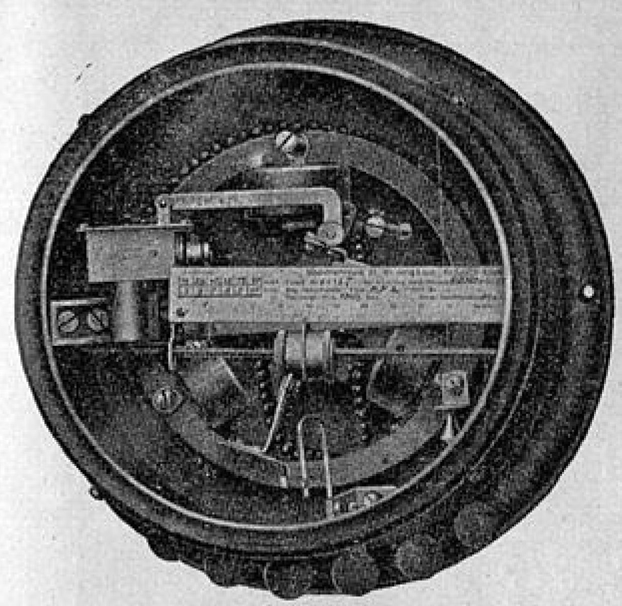


Abb. 26. Sofort wirkendes Ueberstrom-Relais PL Nr. 69003/4 Nullspannungs-Relais „ „ 69003. K 1147

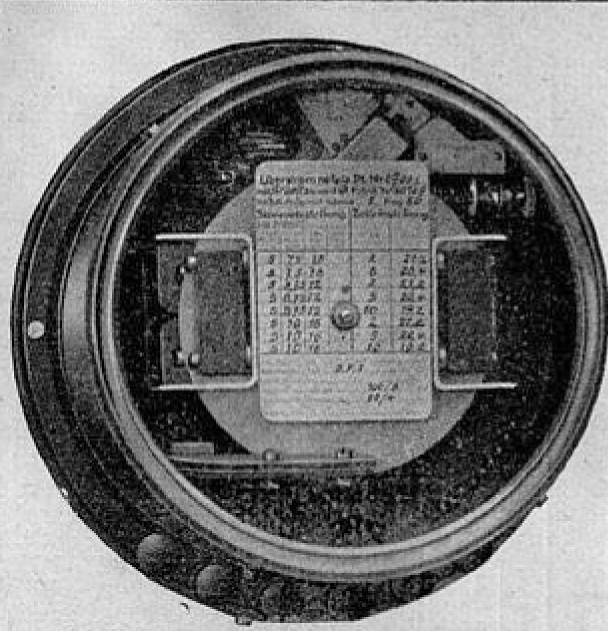


Abb. 27. Abhängiges Ueberstrom-Zeitrelais PL Nr. 69005. K 1148

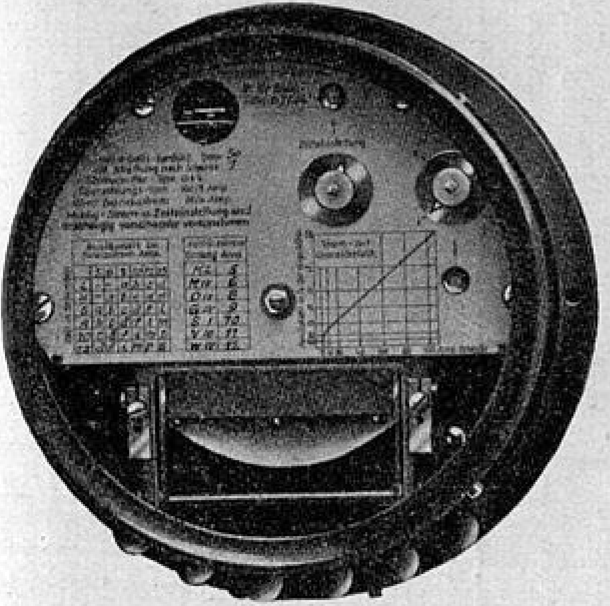


Abb. 28. Abhängiges Ueberstrom-Zeitrelais PL Nr. 69007 K 1149



Abb. 29. Unabhängiges Ueberstrom-Zeitrelais PL Nr. 69036 G/Ga. K 1150

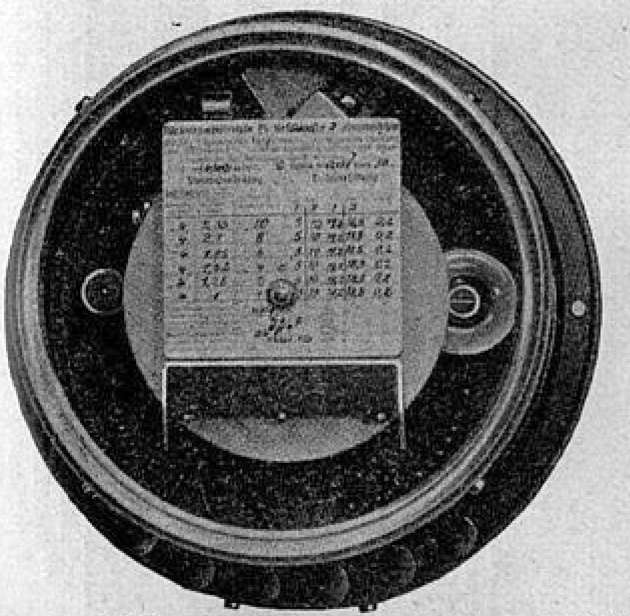


Abb. 30. Rückstrom-Zeitrelais PL Nr. 69006. K 1151

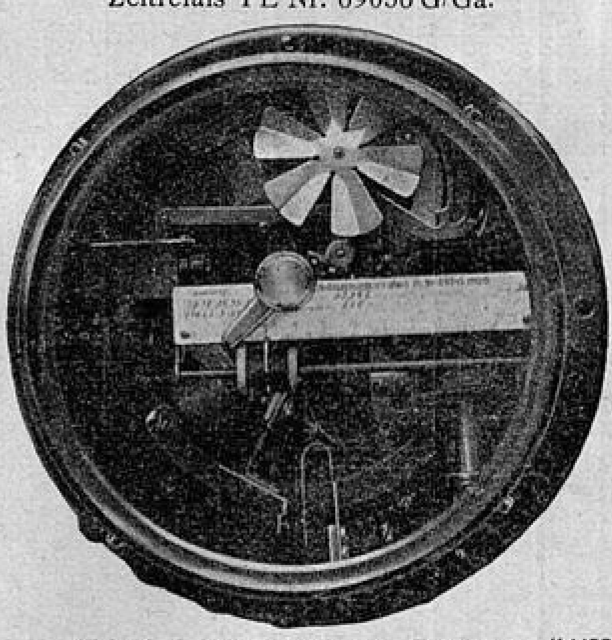


Abb. 31. Nullspannungs-Zeitrelais PL Nr. 109229. K 1152

Die hauptsächlichsten Arten der Relaisauslösungen

Schutz			Schaltschema siehe Abbild.	PL Nr der Relais			Stromwandler		Spannungswandler	Auslösemagnet für den Oelschalter	Besondere Auslösestromquelle
Art des Schutzes	Zeiteinstellung	Anwendbar für		Ueberstrom	Rückstrom	Nullspannung	Type C	Type P oder UA			
				2 Stück†	1 Stück	1 Stück erforderlich	2 Stück†	2 Stück† erforderlich			
							zulässig. Anschluß von				
1. Auslösemagnet für Arbeitsstrom, Relais mit Arbeitskontakt											
Ueberstrom	ohne	Motoren	32	69043 oder 69044	—	—	Auslösemagnet u. Strommesser	Auslösemagnet, Strom-, Leistungsmesser und Zähler	Nicht erforderlich **	Bis 600 Amp. und 24000 Volt Type II PL Nr 69514; über 600 Amp. und 24000 Volt Type III PL Nr 69515	Gleichstrom 20—250 Volt oder Wechselstrom bis 250 Volt *
	abhängig	Motoren, Transformatoren	32	69005 oder 69007	—	—					
	unabhängig*	Parallelarbeitende Generat., Transfor.	33	69036G	—	—	Nicht verwendbar				
Ueberstrom und Nullspannung	abhängig	Motoren ohne Aufsicht	34	69005 oder 69007	—	69003 oder 109229	Nicht verwendbar		Für einphasigen Wechselstrom **		
Ueberstrom und Rückstrom	ohne	Synchronmotoren	35	69043	69006	—					
	abhängig			69005 oder 69007							
Ueberstrom, Rückstrom und Nullspannung	ohne	Parallelarbeitende Generat.	36	69043	69006	69003 oder 109229					
	abhängig			69005 oder 69007							

* Bei unabhängiger Ueberstromauslösung darf als Auslösestromquelle nur Gleichstrom von 20—250 Volt verwendet werden.
** Bei Anschluß von Leistungsmessern oder Zählern ist bei allen Schutzarten ein Spannungswandler für Drehstrom erforderlich.
† Für zweiphasigen Schutz. für dreiphasigen Schutz sind drei Stück erforderlich.

Schutz			Schaltschema	PL Nr der Relais			Stromwandler		Spannungswandler	Auslösemagnet für den Oelschalter	Besondere Auslösestromquelle
Art des Schutzes	Zeiteinstellung	Anwendbar für	siehe Abbild.	Ueberstrom	Rückstrom	Nullspannung	Type C	Type P oder UA			
				2 Stück†	1 Stück	0 Stück	2 Stück†	2 Stück†			
				erforderlich			erforderlich				
							zulässig. Anschluß von				
2. Auslösemagnet für Ruhestrom, Relais mit Ruhekontakt											
Ueberstrom und Nullspannung	ohne	Motoren ohne Aufsicht	37	69043 oder 69044	—	—	Auslösemagnet u. Strommesser	Auslösemagnet, Strom-, Leistungsmesser und Zähler	Für einphasigen Wechselstrom **	Bis 600 Amp. und 24000 Volt Type II PL Nr 69512; über 600 Amp. und 24000 Volt Type III PL Nr 69540	Nicht erforderlich
	abhängig		37	69005 oder 69007	—	—					
	unabhängig	Generat., Transfor.	38	69036G	—	—	Nicht verwendbar				Gleichstr. 20-250 V.
Ueberstrom, Rückstrom und Nullspannung	ohne	Synchronmotoren, parallelarbeitende Generat.	39	69043	69006	—	Nicht verwendbar				Nicht erforderlich
	abhängig			69005 oder 69007							
3. Auslösemagnet* für Arbeitsstrom, Relais mit Ruhekontakt (nur für zweiphasigen Schutz)**											
Ueberstrom	ohne	Motoren	40	69043	—	—	Nicht verwendbar	Wie unter 1 oder 2	Nicht erforderlich	Wie unter 1	Nicht erforderlich
	abhängig			69005 oder 69007							

** Bei Anschluß von Leistungsmessern oder Zählern ist bei allen Schutzarten ein Spannungswandler für Drehstrom erforderlich.
*** Der Auslösemagnet muß für Betätigung durch Stromwandler gewickelt sein.
† Für zweiphasigen Schutz, für dreiphasigen Schutz sind drei Stück erforderlich.

Schaltungen für Relaisauslösungen.

Auslösemagnet für Arbeitsstrom, Relais mit Arbeitskontakt.

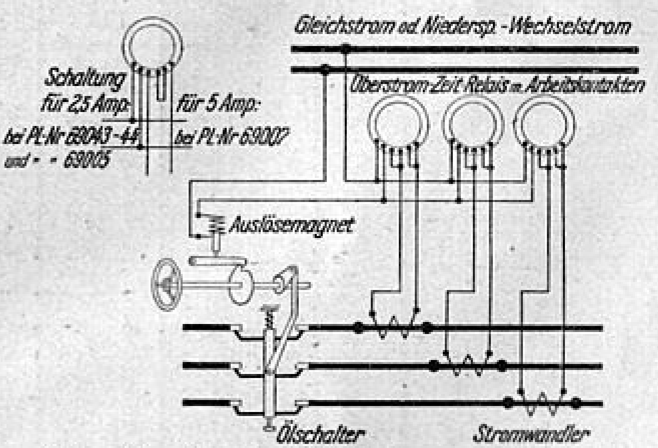


Abb. 32. Dreiphasiger Schutz gegen Ueberstrom, ohne oder mit abhängiger Zeiteinstellung. (Entspricht PL.-Schema 2) TWL 11224

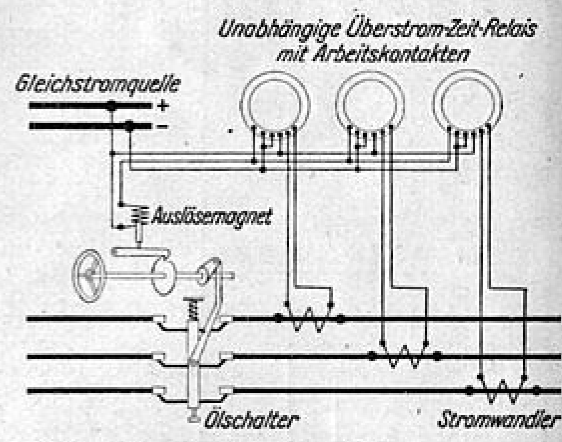


Abb. 33. Dreiphasiger Schutz gegen Ueberstrom, unabhängige Zeiteinstellung. (Entspricht PL.-Schema 16) TWL 11224

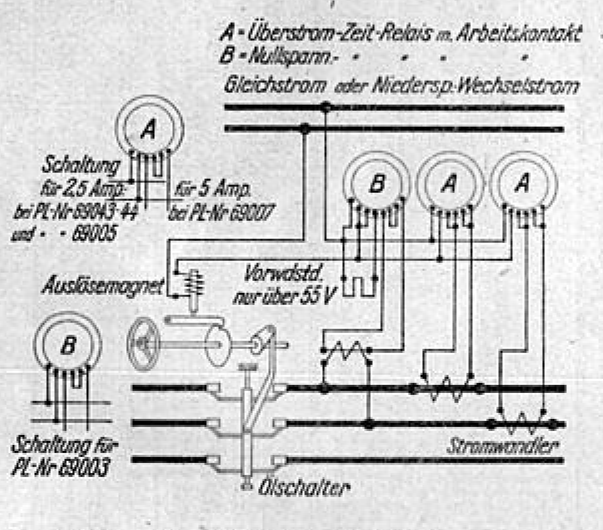


Abb. 34. Zweiphasiger Schutz gegen Ueberstrom. Schutz gegen Nullspannung. (Entspricht PL.-Schema 2) TWL 11225

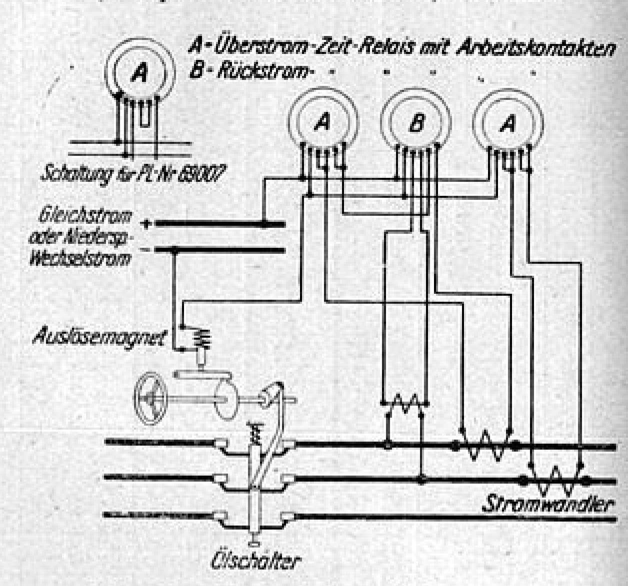


Abb. 35. Zweiphasiger Schutz gegen Ueberstrom. Schutz gegen Rückstrom (Entspricht PL.-Schema 14) TWL 11225

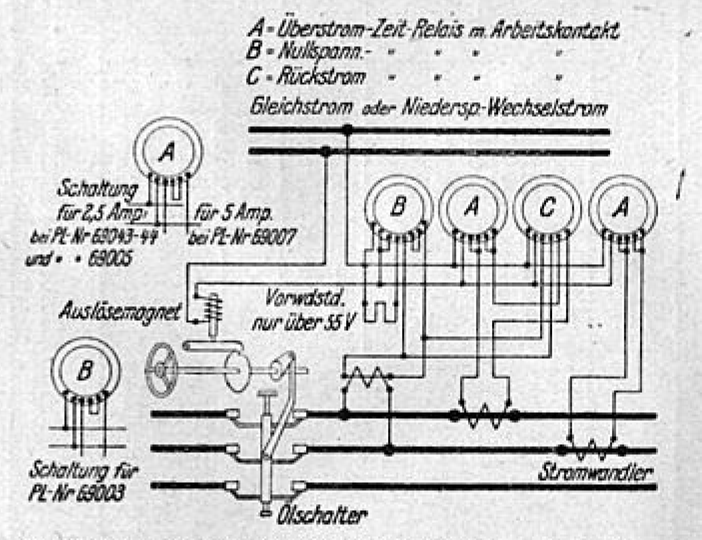


Abb. 36. Zweiphasiger Schutz gegen Ueberstrom. Schutz gegen Rückstrom und Nullspannung. (Entspricht PL.-Schema 14) TWL 11225

Auslösemagnet für Ruhestrom, Relais mit Ruhekontakt.

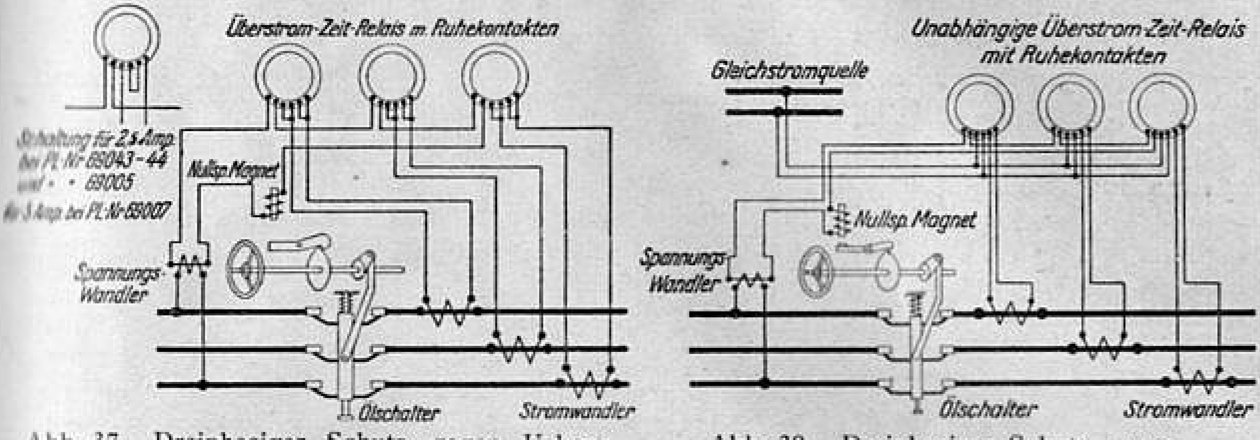


Abb. 37. Dreiphasiger Schutz gegen Ueberstrom (ohne oder mit abhängiger Zeiteinstellung). Schutz gegen Nullspannung. (Entspricht PL.-Schema 6) TWL 11227

Abb. 38. Dreiphasiger Schutz gegen Ueberstrom (unabhängige Zeiteinstellung). Schutz gegen Nullspannung. (Entspricht PL.-Schema 18) TWL 11227

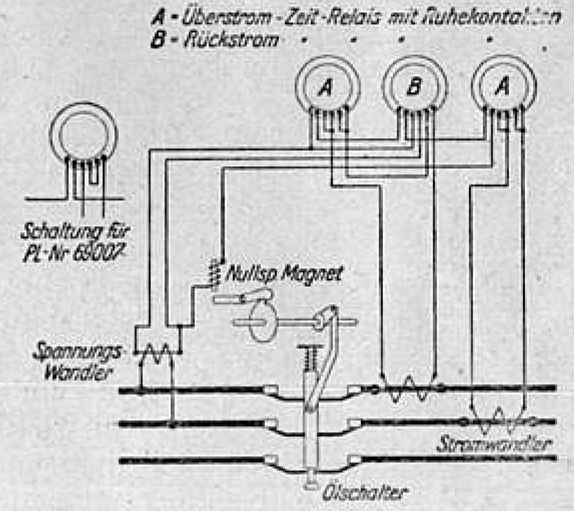


Abb. 39. Zweiphasiger Schutz gegen Ueberstrom. Schutz gegen Rückstrom u. Nullspannung (Entspricht PL.-Schema 12) TWL 11228

Auslösemagnet für Arbeitsstrom, Relais mit Ruhekontakt.

Der Auslösemagnet muß für Betätigung durch Stromwandler gewickelt sein.

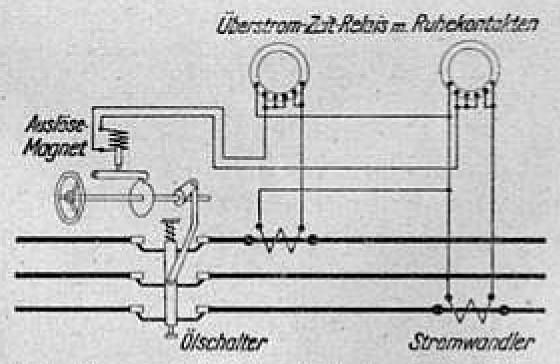


Abb. 40. Zweiphasiger Schutz gegen Ueberstrom. (Entspricht PL.-Schema 3 a) TWL 11229

Signalvorrichtungen.

Da jede der vorgenannten Auslösungen ein Klinkwerk mit Freiauslösung besitzt, zeigt nach voraufgegangener selbsttätiger Auslösung die mechanische Anzeigevorrichtung am Handrade des Oelschalters niemals die richtige Schaltstellung desselben. Daher sind überall, wo Schalter mit selbsttätiger Auslösung oder mit Kettenantrieben verwendet werden, Signalvorrichtungen zur Kennzeichnung der jeweiligen Schaltstellung empfehlenswert. Diese Signallampen werden an der Bedienungsstelle des Oelschalters montiert und durch eine auf der Oelschalterwelle anzubringende Kontaktvorrichtung geschaltet.

Betätigungsarten.

Normaler Antrieb.

Bei dem Normalantrieb tritt die Betätigungswelle an der Schmalseite des Oelschalters aus (Abb. 41), auf die ein Handrad aufgesetzt wird. Drehung entgegen dem Uhrzeiger bewirkt Einschaltung, Drehung mit dem Uhrzeiger Ausschaltung. Der Drehwinkel beträgt 180° (bei Schaltern mit selbsttätiger Auslösung 150°.) Das Handrad besitzt zur Kennzeichnung seiner Stellung einen Zeiger.



Abb. 41. Oelschalter, normaler Antrieb. K 1153

Sobald die Oelschalter mit selbsttätiger Auslösung Type Mz, Md, Type II oder III ausgerüstet sind, wird durch die eingebaute Verklinkung eine Entkupplung zwischen Handrad und Schalter herbeigeführt (Freiauslösung). Das Handrad bleibt daher beim selbsttätigen Auslösen in der Einschaltstellung stehen. Durch Zurückdrehen des Handrades in die Ausschaltstellung tritt die Kupplung zwischen Oelschalter und Handrad wieder ein. Beim Ausschalten von Hand wird die Verklinkung des Schalters durch Zurückdrehen des Handrades in die Ausschaltstellung gelöst, worauf sich der Schalter wie bei selbsttätiger Auslösung augenblicklich öffnet.

Winkelantrieb.

Um die Oelschalter verschiedenen Leitungsführungen anzupassen, werden sie außer mit Normalantrieb auch mit Winkelantrieb hergestellt. Die Betätigungswelle, welche das Handrad trägt, tritt hierbei nach Abb. 42 an der Breitseite des Deckels heraus, und zwar zwischen dem ersten und zweiten Isolatorenpaar von links. Die Bewegungsübertragung auf die Oelschalterwelle erfolgt durch eingebaute Kegelräder. Für Schalter mit selbsttätiger Auslösung gilt das für diese Ausführung unter normalem Antrieb Gesagte.

Kettenantriebe.

Kann der Oelschalter nicht unmittelbar durch das Handrad betätigt werden, so ist als mechanischer Fernantrieb von Handrad zu Schaltwelle des Oelschalters der Kettenantrieb zu verwenden (Abb. 43). Das Handrad sitzt dann auf einer besonderen in der Schalttafel gelagerten Welle, welche ebenso wie der Oelschalter ein Kettenrad erhält. Die über die Kettenräder laufenden beiden Kettenstücke werden bei größerer Wellenentfernung durch Drahtseile miteinander verbunden.

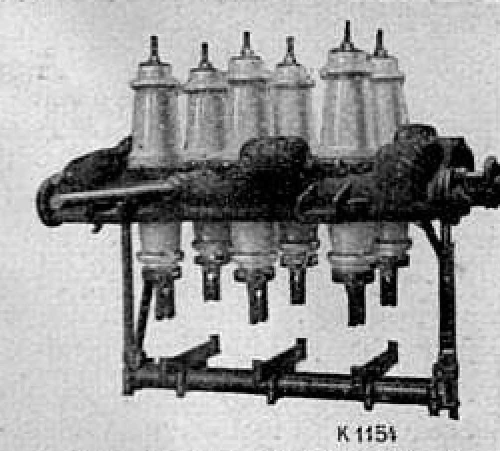


Abb. 42. Oelschalter geöffnet, mit Winkelantrieb.

In Fällen, in denen die beiden Kettenräder nicht in einer horizontalen Ebene liegen, werden Kettenantriebe mit Vorgelege verwendet. Dieses besteht aus einer Welle mit 2 Kettenrädern, 2 besonderen Lagern und 2 weiteren Kettenstücken. Diese Anordnung zeigt ebenfalls Abb. 43.

Gelenkkupplung

Für Ölschalter mit automatischen (Nullsp.- oder Mz.-Auslösungen): Kettenrad mit Nute versehen und lose auf der Welle sitzend.

Öl-schalter

Gekapselter Auslöse-Magnet

Bei Bestellung anzugeben

A B C

Gall'sche Kette 15 mm Teilung

Teilkreis ⌀ 124,2 mm

Ölschalter

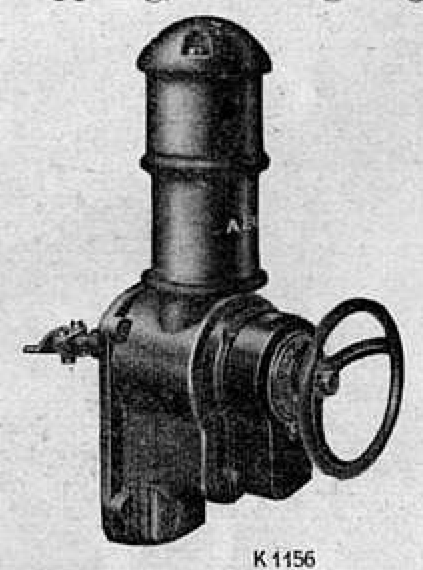
Für Ölschalter mit Handbetätigung: Kettenrad fest auf der Welle sitzend.

A = Ausführung mit Mauerlager
B = „ ohne „
C = „ mit separatem Lager

Abb. 43. Kettenantrieb ohne und mit Vorgelege für Oelschalter. K 1155

Fernschaltmagnete.

Wenn örtliche Verhältnisse eine mechanische Uebertragung von Handrad zu Schaltwelle nicht gestatten, werden Fernschaltmagnete zum Aus- und Einschalten der Oelschalter verwendet. Diese Vorrichtung besteht aus einem Einschaltmagneten, der seinen Betätigungsstrom selbst unterbricht und einem Auslösemagneten für Arbeitsstrom zum Lösen der Verklinkung. Zur unmittelbaren Schaltung ist außerdem ein Handrad vorgesehen. Die Fernschaltmagnete besitzen ebenfalls Freiauslösung; sie werden außerhalb der Oelschalterzelle an die Zellenwand angebaut. Die Verbindung mit dem Oelschalter erfolgt ebenso wie bei den Auslösemagneten Type Mz und Md oder Type II und III durch eine bewegliche Kupplung, welche geringe, während der Montage entstandene Ungenauigkeiten ausgleicht. Für normale Oelschalter bis 600 Amp. und 24000 Volt kommt der Fernschaltmagnet Type II nach Abb. 44 zur Verwendung.



K 1156

Abb. 44. Fernschaltmagnet Type II

Die Einschaltmagnete können nur mit Gleichstrom von 65 bis höchstens 220 Volt betätigt werden. Die Einschaltspule ist unterteilt, bei 110 Volt erfolgt Parallelschaltung, bei 220 Volt Reihenschaltung beider Hälften. Die Einschaltenergie beträgt für Oelschalter bis 350 Amp. und 3000 Volt 3—3,5 kW, für Oelschalter bis 350 Amp. und 6000—24000 Volt 5 kW. Für Oelschalter mit Winkelantrieb ist der Verbrauch ca. 30% größer. Die Betätigungsleitungen sind so zu bemessen, daß durch den Einschaltstrom kein höherer Spannungsabfall als 10% eintreten kann. Die selbsttätige Unterbrechung erfolgt nach der Einschaltung durch einen im Gehäuse des Fernschaltmagneten angeordneten Unterbrecherkontakt. Eine zweite Kontaktvorrichtung betätigt zwei Signallampen, welche die jeweilige Schaltstellung anzeigen.

Die Ausschaltmagnete werden gewöhnlich für dieselbe Gleichstromspannung wie die Einschaltmagnete gewickelt, können aber auch für andere Gleichstromspannungen oder für Wechselstrom bis 250 Volt, 25—60 Perioden vorgesehen werden. Die Betätigung kann sowohl durch den Betätigungsschalter als auch, wie bei Auslösemagneten für Arbeitsstrom, durch Relais erfolgen. Die Verwendung des Ausschaltmagneten für Ruhestrom ist nicht möglich.

Statt der Gleichstrom-Einschaltmagnete können auch Fernschaltapparate mit Einschaltmotor gewählt werden. Das Einschalten des Oelschalters erfolgt durch Erregung eines kleinen Schaltmagneten, der seinerseits den Stromkreis des Einschaltmotors mit Schneckenantrieb schließt. Nach erfolgter Einschaltung wird der Stromkreis des Schaltmagneten selbsttätig unterbrochen und die Verbindung mit dem Auslösemagneten hergestellt. Dieser kann durch einen Betätigungshebel oder durch Relais geschaltet werden. Der Energieverbrauch beträgt für den Motor etwa $^2/_3$ PS, für den Schalt- und den Auslösemagneten je etwa 100 VA.

Der Vorteil dieses Apparates liegt darin, daß man nicht nur auf Gleichstrom angewiesen ist. Er wird also in erster Linie für Drehstromanlagen in Frage kommen, bei denen sich die Aufstellung einer besonderen Gleichstrombatterie nicht lohnt.

Behandlung von Oelschaltern.

1. **Sofort nach Eintreffen** ist die innere Arretierung und die Verpackung der Schalttraverse zu entfernen. Der Schalter ist zu reinigen und auf etwaige, durch den Versand entstandene Beschädigungen zu untersuchen. Die Kontaktfedern müssen mit genügendem Druck anliegen.

2. Die zwischen den Trägern der Ueberstromrelais angebrachte Versteifungsstange ist vor Inbetriebnahme abzunehmen.

3. **Der Oelschalter** ist nach erfolgter Untersuchung und Reinigung **sofort mit Oel zu füllen,** auch wenn er noch nicht in Betrieb genommen wird.

Die Oelmarke gilt für kaltes Oel.

4. Das Oel muß erneuert werden, sobald es durch häufiges Ausschalten dickflüssig und schwarz geworden ist.

5. Jeder Schalter trägt ein Bezeichnungsschild, auf dem PL Nr, Fabrik-Nr, höchstzulässige Betriebsspannung und höchstzulässiger Betriebsstrom (ohne Rücksicht auf etwaige Auslösespulen) angegeben sind. Der Schalter darf nur gemäß den Angaben des Bezeichnungsschildes verwendet werden.

Der auf dem Bezeichnungsschild oder bei Schaltern mit direkter Ueberstromauslösung auf diesem angegebene Betriebsstrom darf nicht dauernd überschritten werden.

Bei Schaltern mit zugehörigen Fernbetätigungen ist diese mit derselben Fabrik-Nr wie der Oelschalter versehen.

6. Die Ein- und Ausschaltstellungen sind mit Schildern „Ein" und „Aus" versehen. Dementsprechend ist der Zeiger am Handrade einzustellen.

7. Der Oelschalter muß **schnell** aus- oder eingeschaltet werden.

8. Je nach Inanspruchnahme des Schalters sind die Kontakte von Zeit zu Zeit nachzusehen. Etwa angebrannte Abreißkontakte sind rechtzeitig zu erneuern.

9. Ist mit dem Oelschalter ein Kurzschluß abgeschaltet worden (selbsttätig oder von Hand), so ist eine Wiedereinschaltung möglichst erst dann vorzunehmen, wenn die Fehlerquelle beseitigt ist. Nach einem starken Kurzschluß sollen möglichst die Kontakte nachgesehen werden.

10. Jeder Schalter ist vorschriftsmäßig über die vorhandene Erdschraube zu erden.

11. Bei Schaltern mit Oelkastenwinde sind vor dem Herablassen des Kastens die zur Seilentlastung dienenden Stangen herauszuziehen. Zu diesem Zwecke ist der Kasten mittels der Winde ein wenig anzuheben. Nach dem Aufwinden des Kastens sind die Stangen wieder einzustecken, und darauf ist der Kasten bis zum Aufsitzen auf den Stangen herabzulassen, so daß die Seile entlastet sind. Die Seile sowie die Seilbefestigungen sind von Zeit zu Zeit nachzusehen.

12. Bei Schaltern mit direkter Ueberstromzeitauslösung befinden sich an dieser zwei Skalen für die Auslösestromstärke und die Auslösezeit. Die Einstellung erfolgt durch Verstellen der Zeiger, wobei diese aus den Verzahnungen der Skalen ausgehoben werden müssen, in welche sie nach dem Loslassen wieder einschnappen. Die Auslösezeit ist abhängig von der Höhe des Ueberstromes. Daher enthält die Zeitskala für jede Sekundenzahl drei Einstellungen, entsprechend drei verschiedenen Ueberströmen.

Die zulässige Dauerstromstärke ist unter der Bezeichnung „Betriebsstrom" neben der Stromskala besonders vermerkt.

13. Bei Nachbestellung von Ersatzteilen ist die Fabrikations- und PL Nr des Schalters anzugeben, sowie möglichst Muster und Skizze einzusenden.

III. Trennschalter, Sicherungen, Strom- u. Spannungswandler.

Anwendung der Trennschalter.

Arbeiten an Hochspannungsleitungen dürfen nach den Vorschriften des VDE nur vorgenommen werden, wenn die Leitungen durch Trennschalter abgeschaltet und an der Arbeitsstelle geerdet sind. In jede von den Sammelschienen zu Generatoren, Transformatoren, Motoren, Ueberspannungsschutz oder zu anderen Stationen usw. abgehende Leitung, sowie in jede ankommende Leitung ist also ein Trennschalter einzubauen. Ebenso ist der Einbau von Streckentrennschaltern in Ringverteilungsnetzen erforderlich, um einzelne Leitungsteile zwecks Untersuchung oder Reparatur spannungslos machen zu können.

Die Trennschalter bestehen im wesentlichen aus drehbar auf Isolatoren angeordneten Kupfermessern und sind der jeweiligen Serie entsprechend isoliert. Sie dürfen nur im unbelasteten Zustand der Leitungen betätigt werden, jedoch können sie im Notfalle den Ladestrom nicht zu langer Kabel und den Leerlaufstrom kleiner Transformatoren, Hornausschalter auch geringe Belastungen, abschalten. Ist mit Rücksicht auf den Spannungsabfall in der Leitung eine Spannungserhöhung in der Station notwendig, so können Trennschalter auch für Spannungen bis 15% über den Normalwerten verwendet werden.

Einpolige Trennschalter werden verwendet, wenn genügender Platz für den Einbau und geschultes Bedienungspersonal zur Verfügung steht. Ist der Raum dagegen beschränkt, wie z. B. bei den normalen Hochspannungskammern, oder bleibt die Bedienung weniger geübtem Personal überlassen, so werden zweckmäßiger dreipolige Trennschalter gewählt.

Trennschalter für Innenräume.

Bei den **einpoligen** Trennschaltern (Abb. 45) sind die Messer um 180° umlegbar. Sie können aber auch bei Ausführungen bis 600 Amp. mit einer federnden Rast in der Ausschaltstellung versehen werden, die das Trennmesser in einer zur Einschaltstellung senkrechten Lage festhält. Einpolige Trennumschalter besitzen die gleiche Bauart, jedoch wird bei diesen bis zu 600 Amp. stets die federnde Rast in der Ausschaltstellung angebracht.

Die **dreipoligen** Trennschalter (Abb. 46) sind auf gemeinsamer gußeiserner Grundplatte aufgebaut. Die Betätigung erfolgt mittels Kurbelwelle, deren Bewegung durch Porzellanisolatoren auf die Schaltmesser über-

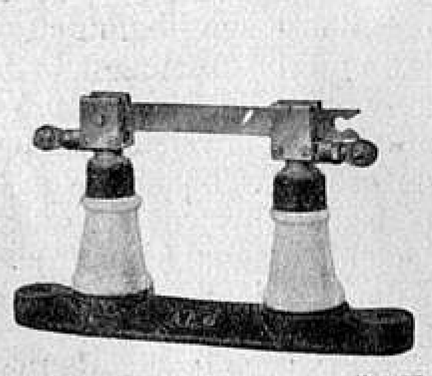


Abb. 45. K 1157
Einpoliger Trennschalter.

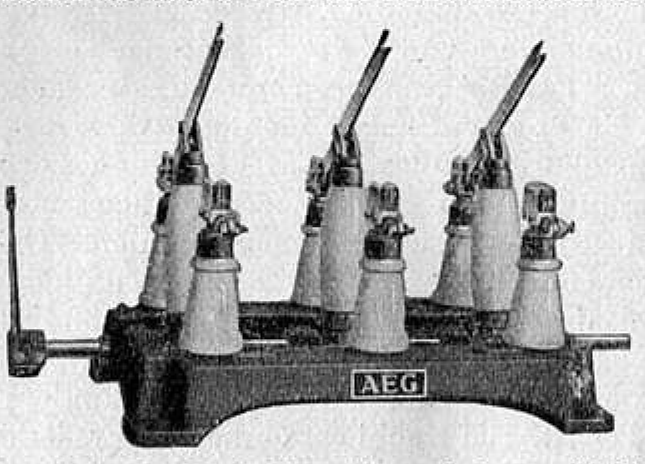


Abb. 46. Dreipoliger Trennschalter. K 1158

tragen wird. Der auf der Kurbelwelle befestigte Hebel wird durch eine Schaltstange oder ein besonderes Gestänge bedient. Der Hebel kann auch durch ein Handrad oder ein Ketten- bzw. Kegelrad für Bedienung mittels mechanischen Fernantriebes ersetzt werden.

Freileitungs-Trennschalter.

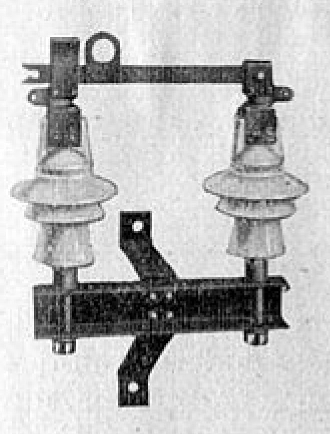


Abb. 47. K 1159
Einpoliger Freileitungs-Trennschalter.

Freileitungs-Trennschalter werden ebenfalls als Messerschalter ausgeführt werden. Sie sind zur Montage im Freien bestimmt und dienen zum Abtrennen von stromlosen Hochspannungs-Freileitungen. Diese Trennschalter (Abb. 47) werden nur einpolig und in stehender und hängender Anordnung hergestellt. Die Bedienung erfolgt mittels Schaltstange.

Die gebräuchlichsten Freileitungsschalter sind die dreipoligen **Hornausschalter** (Abb. 48). Der Lichtbogen wird beim Ausschalten zwischen zwei Hörnern gebildet, an denen er in die Höhe steigt und erlischt. Die normale Bauart ist für Montage auf Holzmasten eingerichtet, ebenso ist auch eine Lieferung zur Montage auf Eisenmasten möglich. Alle Hornausschalter können mittels isolierter Schaltstange betätigt werden.

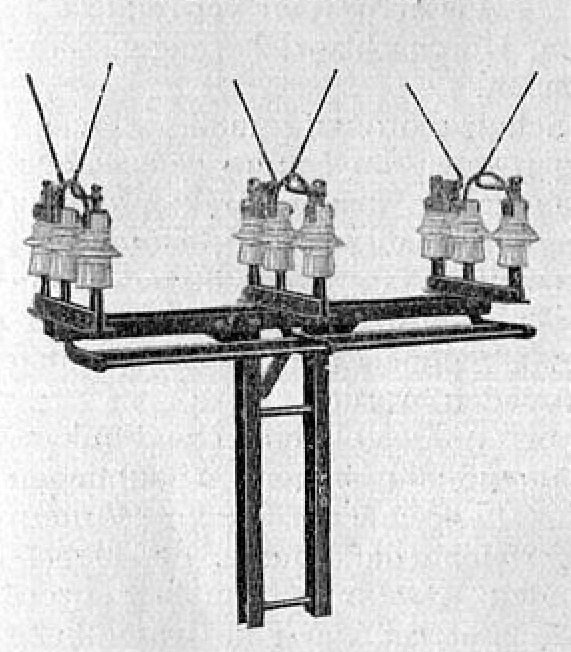


Abb. 48. Hornausschalter. K 1160

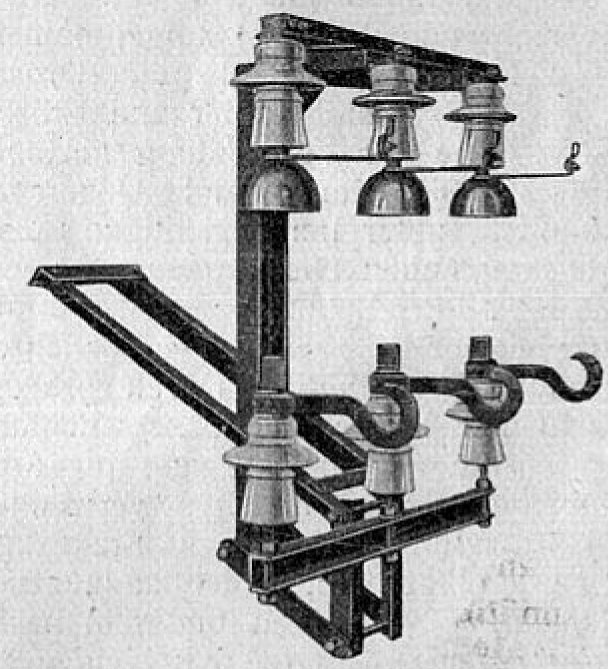


Abb. 49. Abzweigschalter. K 1161

Abzweigschalter (Abb. 49) werden an Holzmasten montiert und dienen zum Anschluß von Transformatorenwagen an Hochspannungs-Freileitungen. Die oberen Kontakte werden fest mit den Freileitungen verbunden, die unteren tragen Anschlußhaken, welche nach Ausschaltung des Schalters spannungslos werden. In diese Haken werden die Anschlußkabel eingehängt. Die Betätigung erfolgt in der Regel ebenfalls durch Schaltstangen.

Sicherungen.

Das Anwendungsgebiet der Hochspannungs-Sicherungen ist durch die selbsttätigen Oelschalter sehr beschränkt worden. Obwohl die Sicherung einen billigeren Schutz darstellt, wird sie nur noch in kleinen Zentralen und Installationen oder für kleine Lichttransformatoren usw. verwendet.

Ein großer Nachteil der Sicherungen ist, daß sie bei einer Ueberlastung fast nie in allen drei Phasen gleichzeitig durchbrennen, sondern gewöhnlich nur in einer oder zwei derselben, so daß die andern Phasen unter Spannung bleiben. Zum Auswechseln der Patronen sind besondere Bedienungszangen zu verwenden, die vorher mit der zugehörigen Erdungsleitung zu erden sind.

Strom- und Spannungswandler.

Strom- und Spannungswandler sind in dem Abschnitt „Messungen und Meßgeräte" ausführlich behandelt.

IV. Blitz- und Ueberspannungsschutz.

Ueberspannungen kommen in elektrischen Netzen entweder durch atmosphärische Einflüsse zustande oder durch plötzliche Aenderungen des elektrischen Zustandes einzelner Netzteile (Schaltvorgänge, Auftreten von Fehlern). Während atmosphärische Einflüsse naturgemäß nur für Freileitungen in Frage kommen, können durch Schaltvorgänge sowohl in Freileitungen als auch in Kabelnetzen Ueberspannungen hervorgerufen werden.

Ueberspannungen jeder Art werden dadurch unschädlich gemacht, daß die ihnen innewohnende Energie durch dämpfende oder energieverzehrende Apparate aufgenommen wird. Hierzu werden verwendet:

Hörnerableiter, Ableitungs-Drosselpulen, Durchschlagsicherungen, Vorstufenölschalter und Erdschlußspulen.

Die zur Verwendung gelangende Schutzanordnung muß, je nachdem es sich um absolute Ueberspannungen oder um Sprungwellenschutz handelt, unter Berücksichtigung der Gesamtanlage dem Charakter der zu bekämpfenden Ueberspannungserscheinung angepaßt werden, worauf bei Auswahl der Schutzapparate besonders zu achten ist. In wichtigen Fällen und besonders bei neu zu errichtenden Anlagen ist daher eine Sonderberatung erforderlich. Durch vorbeugende Maßnahmen kann die Entstehung mancher Ueberspannungserscheinung vermieden werden.

Im allgemeinen sind für Anlagen bis 1000 Volt einfache Funkenableiter Type MD 2 zu verwenden, während für höhere Spannungen Hörner-Funkenableiter in Frage kommen. In Reihe mit diesen Hörnern werden Dämpfungswiderstände geschaltet, welche die Energie der Ueberspannung vernichten und den nachfolgenden Maschinenstrom begrenzen. Außerdem liefert die AEG einen Schutzapparat Bd, der eine wesentliche Vervollkommnung des Hörnerableiters darstellt. Der zwischen Kugelelektroden auftretende Lichtbogen wird hier sofort nach Entstehen durch eine unter Oel gelagerte Kontaktvorrichtung kurzgeschlossen und zum Erlöschen gebracht. Die Dämpfungswiderstände sind in dem gleichen Oelkasten mit eingebaut. Da der sonst über den Hörnern erforderliche Platz wegfällt, benötigt man für die Aufstellung des Apparates nur wenig Raum.

Blitzseile oder Erdseile sind geerdete, direkt auf dem Hochspannungsgestänge verlegte Leitungen. Die Verlegung des Seiles erfolgt auf den Mastspitzen, da dann eine Blitzableiterwirkung vorhanden ist. Außerdem werden die atmosphärischen Ladungen, welche sich auf den Hochspannungsleitungen bilden können, durch die Anordnung eines Erdseiles geringer. Das Seil dient ferner dazu, etwaige Erdungen von Gestängen zu vermitteln. Es ist in Abständen von etwa 500 bis 700 m nach der unter „Erdungen" angegebenen Methode zu erden.

V. Schaltung von Transformatorenstationen.

1. mit Ölschalter mit direkter zweiphasiger Ueberstrom-Zeit- und Freiauslösung;
2. wie 1., jedoch mit Nullspannungsmagnet;
3. wie 1., jedoch mit Nullspannungsmagnet, Strom- und Spannungsmesser.

4. mit Ölschalter, mit zweiphasigem Auslösemagnet und Zeitsicherung;
5. wie 4., jedoch mit Nullspannungsmagnet;
6. wie 4., jedoch mit Nullspannungsmagnet, Strom- und Spannungsmesser.

TWL 11250

In Anlagen mit betriebsmäßig geerdetem Nulleiter fällt die Durchschlagsicherung fort.

VI. Transformatorenstationen.

Hochspannungsschaltanlagen.

Die zu einer Transformatorenstation gehörigen Apparate werden heute allgemein in besonderen Kammern (Zellen) untergebracht, und zwar ist für jeden Transformator oder Stromkreis eine Kammer vorzusehen. Dadurch wird die Uebersichtlichkeit der Anlage wesentlich gefördert, so daß ein Bedienen falscher Apparate so gut wie ausgeschlossen ist. Die Kammern bestehen aus einer Eisenkonstruktion und ausgemauerten oder durch Duroplatten gebildeten Trennwänden. Die Eisenkonstruktion ist gut zu erden, und zwar am besten durch eine geerdete Kupferleitung von 35 qmm Querschnitt oder ein verzinktes Bandeisen, welches an allen Zellen entlanggeführt wird und an welches auch die Erdungsleitungen sämtlicher Apparate anzuschließen sind.

Abb. 50 und 51 zeigen eine derartige Eisenkonstruktion nebst Einzelheiten derselben für 3 Zellen und Oelschalter Serie II. Die erste Zelle ist zur Unterbringung der für die Messung der verbrauchten Energie erforderlichen Strom- und Spannungswandler vorgesehen, während die zweite und dritte Zelle die Oel- und Trennschalter für zwei abgehende Stromkreise aufnehmen. Die Trennschalter sind an der linken Wand der Zelle auf Flacheisen und in entsprechender Höhe an der rechten

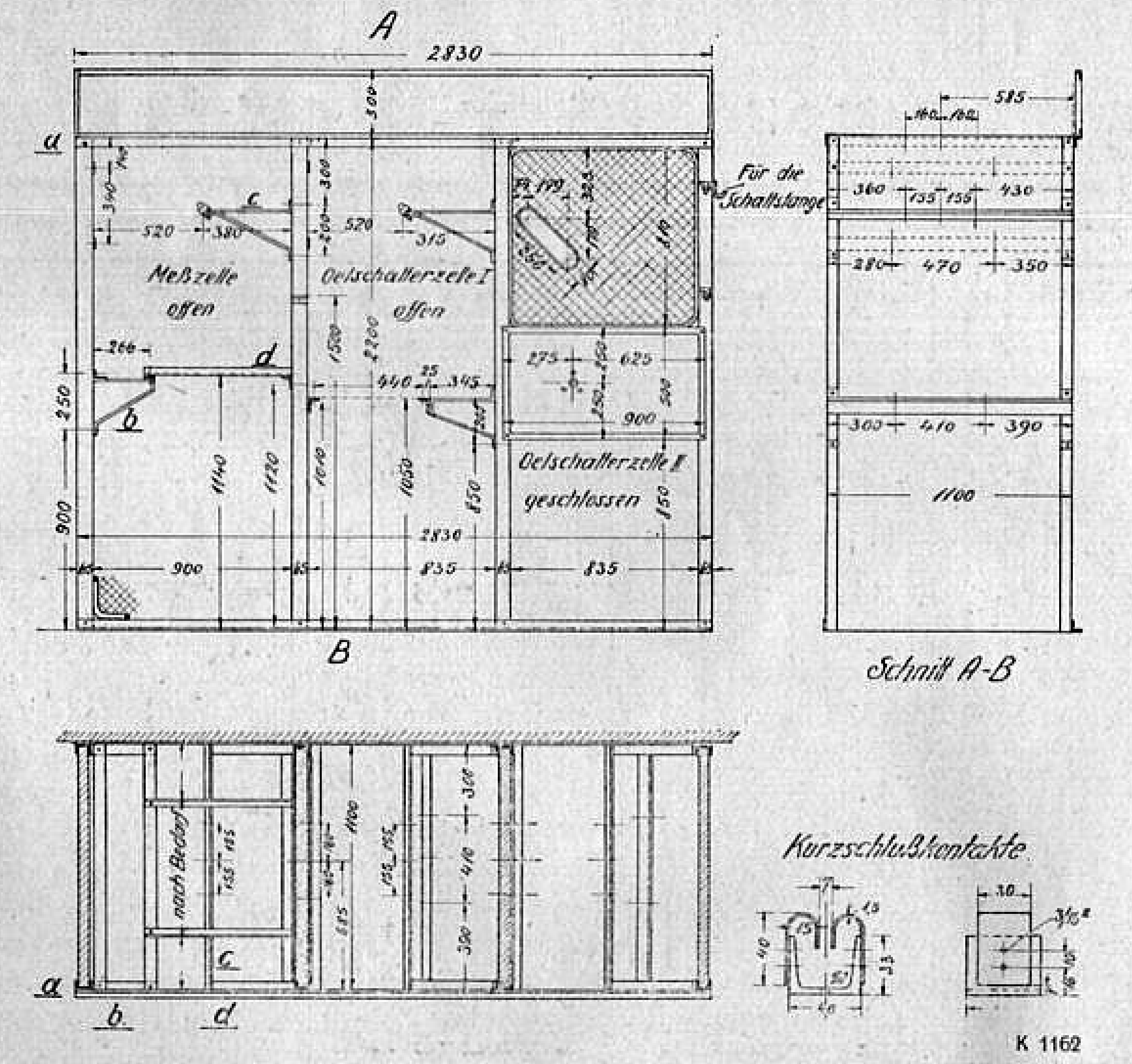


Abb. 50. Aufbau normaler Hochspannungskammern für Oel- und Trennschalter Serie II.

Wand die Kurzschließerkonsole mit den drei Kurzschlußkontakten angebracht. Beim Ausschalten eines Trennschalters schlagen dann die Messer in die Kurzschlußkontakte, so daß, entsprechend den Betriebsvorschriften des V. D. E., der abgeschaltete Stromkreis dadurch kurzgeschlossen und geerdet wird. Ein gefahrloses Untersuchen desselben ist dann ohne weiteres möglich. Bei parallel geschalteten Transformatoren ist noch zu beachten, daß der betreffende Transformator auch unterspannungsseitig ausgeschaltet werden muß. Geschähe dieses nicht, so würde der Niederspannungsstrom rückwärts in Hochspannungsstrom transformiert, welcher bis in den Oelschalter ungehindert eindringen kann. Die Ausschaltstellung des Trennschalters läßt Abb. 52 erkennen, in welcher auch die einzelnen Apparate eingezeichnet sind. Hieraus ist ferner zu ersehen, daß das Oeffnen der oberen Schutzgitter nur im ausgeschalteten Zustande des Trennschalters möglich ist, da dann die Stellung des Hebels mit dem Ausschnitt in dem Gitter zusammenfällt. Die fertig montierte Schaltanlage für obige 3 Zellen ist in Abb. 53 veranschaulicht.

Instrumente werden im allgemeinen auf der Oberspannungsseite nicht montiert. Lediglich die Installation eines Voltmeters ist zu empfehlen, um die Oberspannung kontrollieren zu können. Das Instrument wird entweder vor einer der Zellen, meistens aber mit auf die Niederspannungsschalttafel montiert. Ueber die Ausführung dieser Tafeln siehe unter „Stromerzeugungsanlagen“.

In jedem Hochspannungs-Schaltraum ist eine „Betriebsvorschrift“, eine „Anleitung zur ersten Hilfeleistung bei Unfällen im elektrischen Betriebe“, eine schematische Darstellung der elektrischen Anlage aufzuhängen und zum Löschen von brennendem Oel ein Kasten mit trockenem Sand und Schaufel

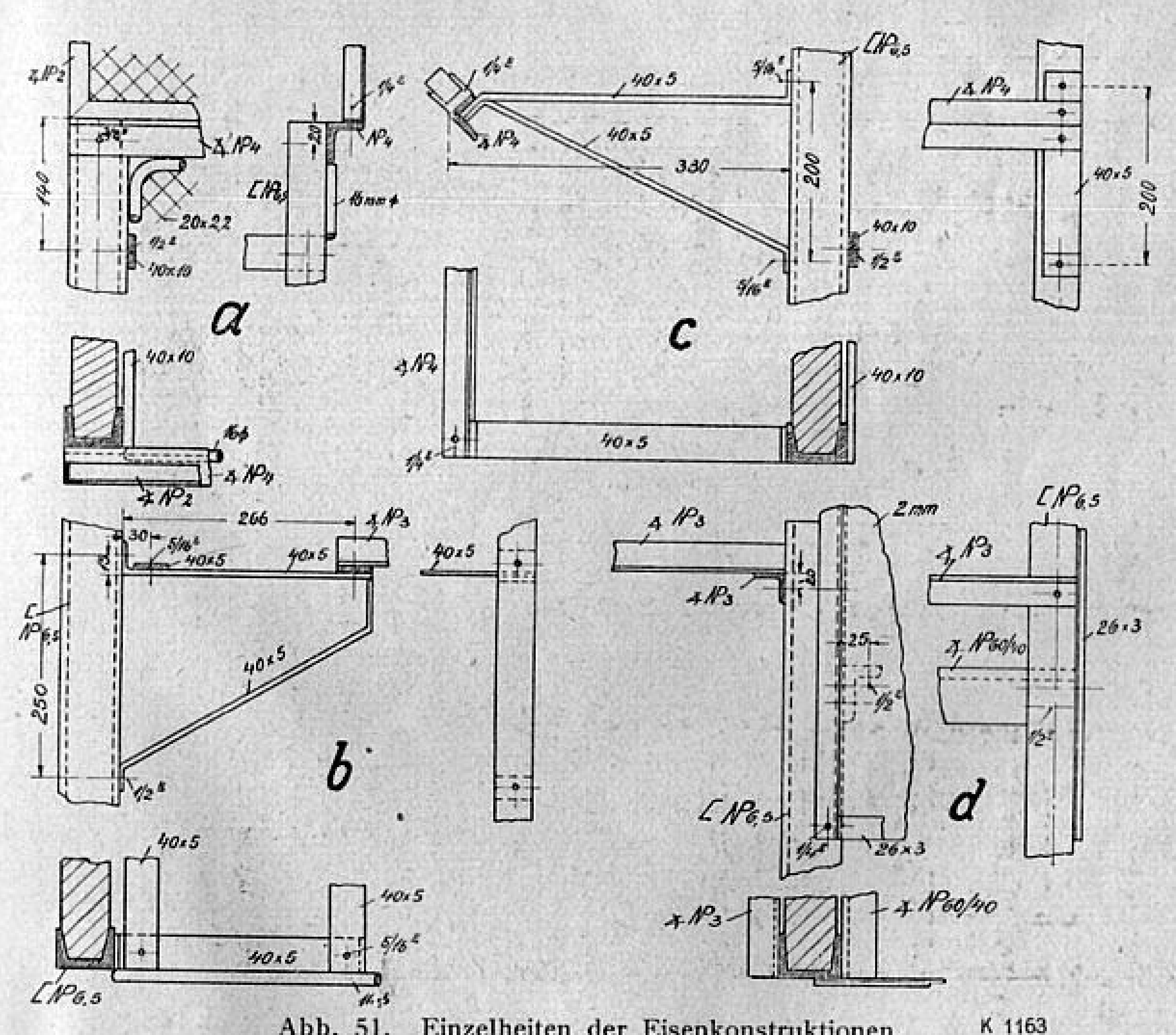


Abb. 51. Einzelheiten der Eisenkonstruktionen. K 1163

Hochspannungskammern
von vorn gesehen

Ankommende Leitung

Schaltstange

Meßzelle
offen.

Oelschalter I

Oelschalter II

Schutzgitter
entfernt

Ankommende Leitung

Abb. 52. Hochspannungskammern mit Apparaten. K 1164

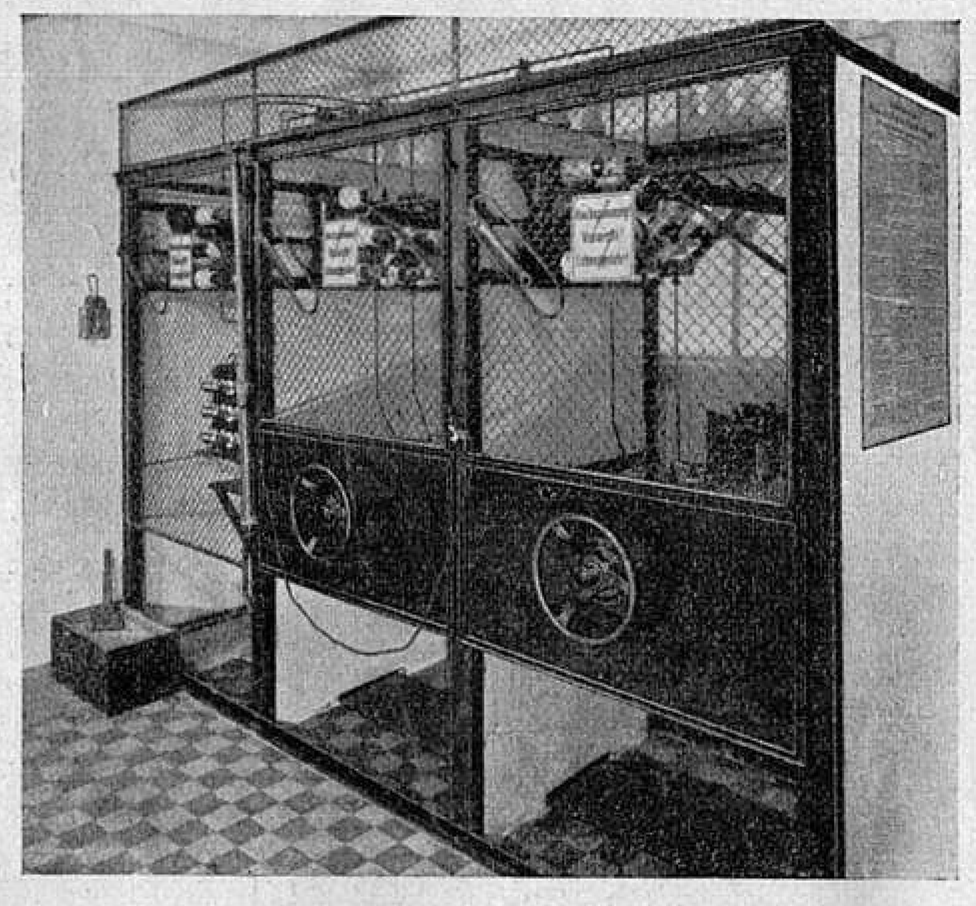


Abb. 53. Fertig montierte Hochspannungsschaltanlage, K 1165

Abb. 54. Transformatorenstation für Kabeleinführung (Einbau in Neubauten).

aufzustellen. Ferner müssen in Hochspannungsbetrieben, insbesondere an den Zugängen zu elektrischen Betriebsräumen Warnungstafeln angebracht sein. Diese sollen eine Mindestgröße von 15×10 cm haben und mit Blitzpfeil versehen sein. Im übrigen sind die Betriebsvorschriften des V.D.E. zu beachten. Für die Beleuchtungsanlage in Hochspannungsräumen ist nur das geschlossene Rohrsystem zulässig. Als Beleuchtungskörper sind möglichst nur Wandarme zu verwenden und in solcher Höhe zu installieren, daß die Glühlampen ohne Leiter ausgewechselt werden können. Ferner muß ein Notlicht, z. B. eine Oellampe, vorhanden sein.

Stationen für Kabeleinführung.

Einbau in Neubauten.

Wird für eine Station ein besonderes Gebäude errichtet, so ist für jeden Transformator, besonders bei größeren Leistungen von etwa 300 kVA ab, eine Kammer vorzusehen, und zwar in einer solchen Größe, daß der Transformator von allen Seiten gut zugänglich ist. Eine derartige Anordnung zeigt Abb. 54. Diese Trennung der Transformatoren voneinander hat den Zweck, einen in Brand geratenen Transformator von der übrigen Anlage gut abzuschließen. Für eine gute Lüftung jeder Kammer ist Sorge zu tragen. Sie erfolgt zweckmäßig durch einen von außen kommenden Luftkanal, welcher durch das Fundament bis unterhalb des Transformators geführt wird, sowie ferner durch eine Ventilationshaube, die, auf das Dach aufgesetzt, der warmen Luft freien Abzug gestattet.

Für den leichten Transport des Transformators innerhalb der Kammer sind von der Tür aus zwei U-Eisen in der Entfernung der Transportrollen voneinander in das Fundament zu verlegen. Ebenso wichtig ist es, einen I-Träger in etwa doppelter Höhe über dem Standort des Transformators anzuordnen, damit mit Hilfe eines Flaschenzuges der Kern bei einem Defekt bequem aus dem Oelkasten herausgehoben und untersucht werden kann.

Ferner ist bei dem Entwurf einer Transformatorenstation wegen der starken und teuren Verbindungsleitungen auf eine möglichst kurze Entfernung zwischen der Unterspannungsseite des Transformators und der Niederspannungs-Schalttafel zu achten.

Einbau in vorhandene Gebäude.

Der Einbau einer Transformatorenstation in ein vorhandenes Gebäude ist ungleich schwieriger, da gewöhnlich nur Kellerräume zur Verfügung gestellt werden. In vielen Fällen läßt sich eine zweckmäßige Anordnung der Gesamtanlage dadurch erreichen, daß störende Wände ganz oder teilweise entfernt und dafür neue an passenden Stellen errichtet werden. Abb. 55 zeigt eine empfehlenswerte Anordnung solcher Stationen.

Da diese Stationen gewöhnlich an das zuständige Elektrizitätswerk angeschlossen werden, so ist zunächst der seitens des Werkes für die Schalt- und Meßeinrichtung verlangte Raum vorzusehen. An diesen muß sich dann der Hochspannungsraum des Konsumenten anschließen, damit die aus dem Schaltraum des Werkes kommende blanke Hochspannungsleitung direkt in die Hochspannungs-Schaltanlage des Konsumenten geführt werden kann. Letztere ist möglichst so aufzustellen, daß sie sowohl von der Vorderseite als auch von der Rückseite aus zugänglich ist. In diesem Hochspannungsraum werden gleichzeitig die Transformatoren untergebracht, da es sich bei derartigen Anlagen gewöhnlich um nicht mehr als 2 bis 3 Stück von höchstens je 150 kVA handelt. Durch

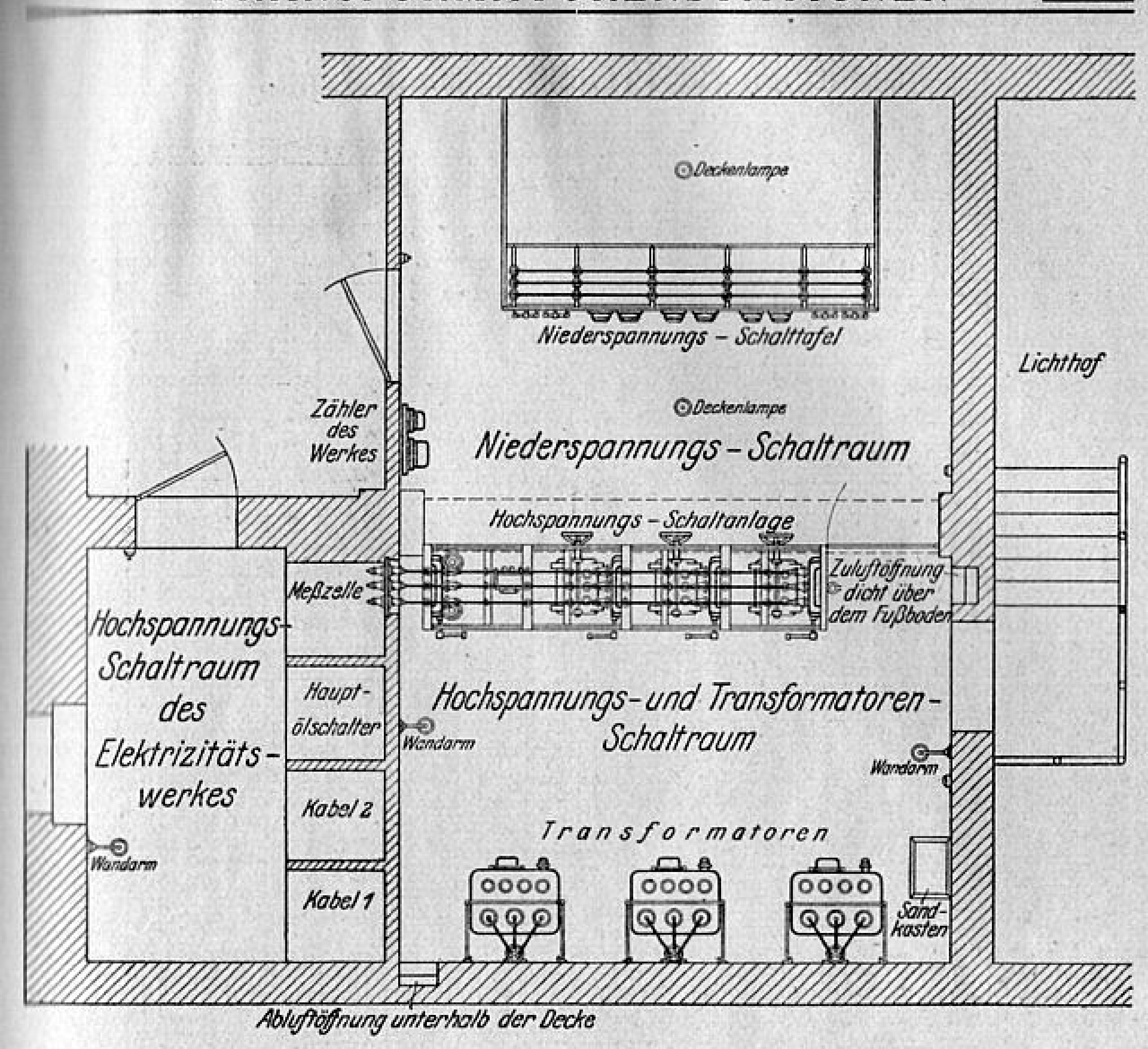


Abb. 55. Transformatorenstation für Kabeleinführung (Einbau in vorhandene Gebäude).

Anordnung von Zu- und Abluftkanälen ist für eine ausreichende Lüftung dieses Raumes Sorge zu tragen. Die Transformatoren werden mit der Oberspannungsseite gegen die Wand, aber in genügender Entfernung, etwa 25 bis 40 cm, von derselben aufgestellt. Der direkt an der Wand montierte Hochspannungs-Endverschluß sowie die Oberspannungsseite der Transformatoren sind zweckmäßig noch durch eiserne Schutzgitter gegen zufällige Berührung zu schützen.

Der dritte zu der Station gehörige Raum dient zur Aufnahme der Niederspannungs-Schaltanlage. Auf dieser sind die unterspannungsseitigen Schalt- und Meßapparate für die Transformatoren und für die zu den Verbrauchern führenden Abzweige montiert. Alles Nähere über die Konstruktion einer solchen Schaltanlage siehe unter „Stromerzeugungsanlagen“. Außerdem werden vielfach noch in diesem Raume auf einer besonderen Wandschalttafel die Zähler des Elektrizitätswerkes montiert.

Die ober- und unterspannungsseitigen Verbindungsleitungen sind als Kabel zu verlegen, da an der Decke angebrachte Leitungen oder Schienen beim Aufnehmen eines Transformators stets stören würden. Außerdem haben die Räume für eine offene Verlegung gewöhnlich nicht die nötige Höhe. Die erforderlichen Kabelkanäle haben eine Tiefe von 30 cm und je nach der Anzahl der Kabel eine Breite von 20 bis 40 cm. Sie sind entweder mit Betonplatten oder besser mit Platten aus Riffelblech abzudecken.

Stationen für Freileitungseinführung.

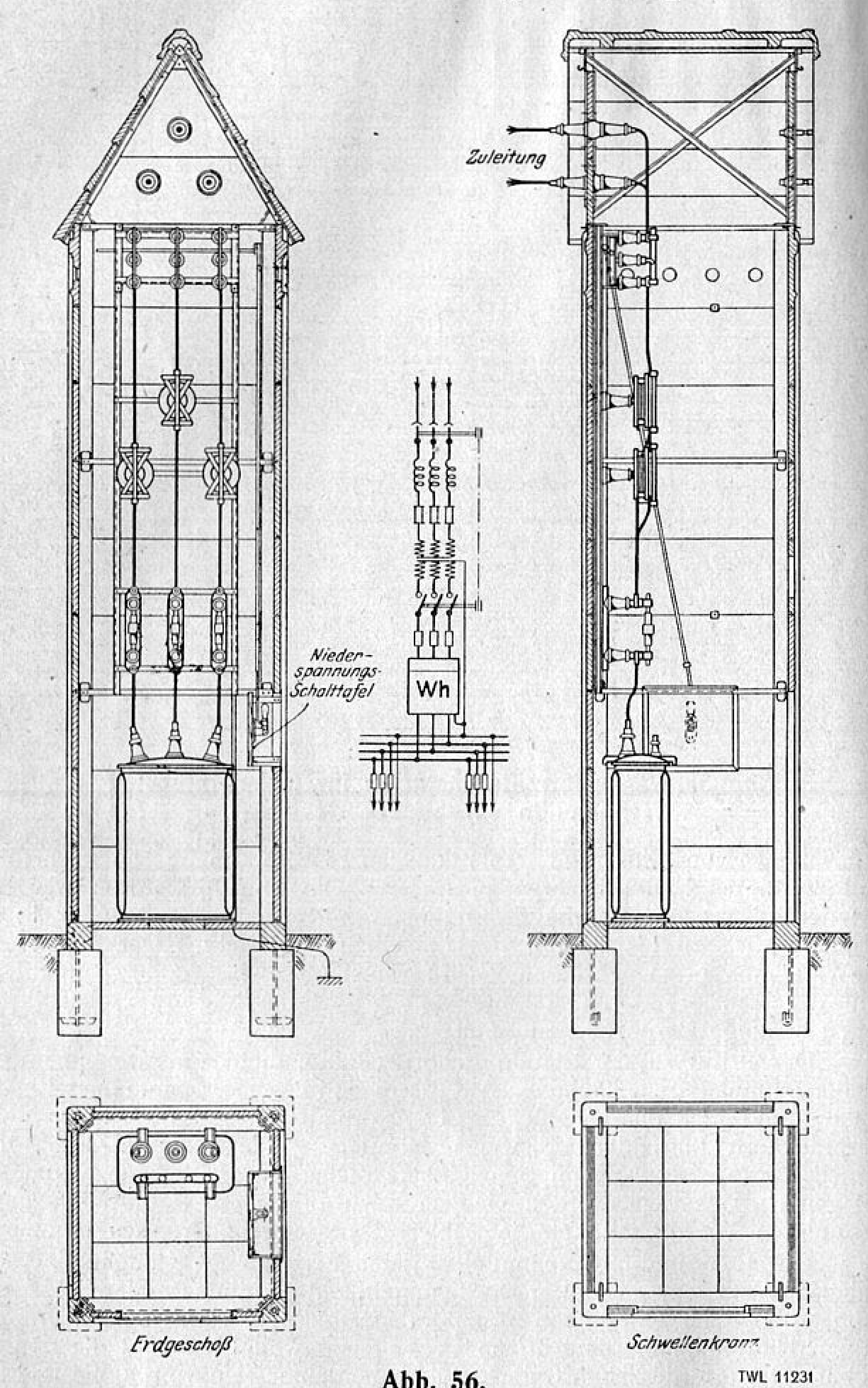


Abb. 56.

Einheitsstation aus Kunststeinplatten für 1 Transformator bis 75 kVA.

Station für Freileitungseinführung.

Nieder-spannungs-Schalttafel

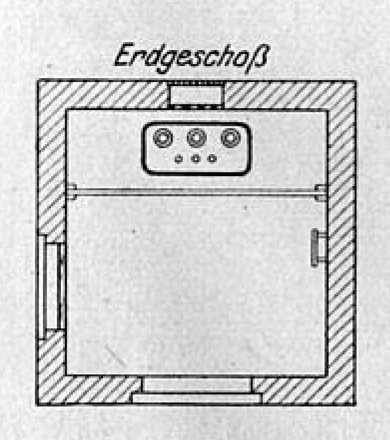
Zuleitung

Luft-austritt

Wh

Luft-eintritt

Erdgeschoß



Obergeschoß

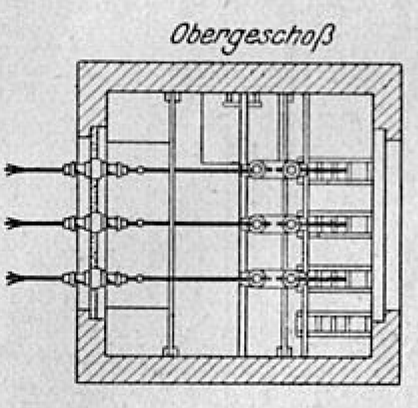


Abb. 57.

TWL 11232

Station für 1 Transformator bis 75 kVA und Blitzschutz.

Station für Freileitungseinführung.

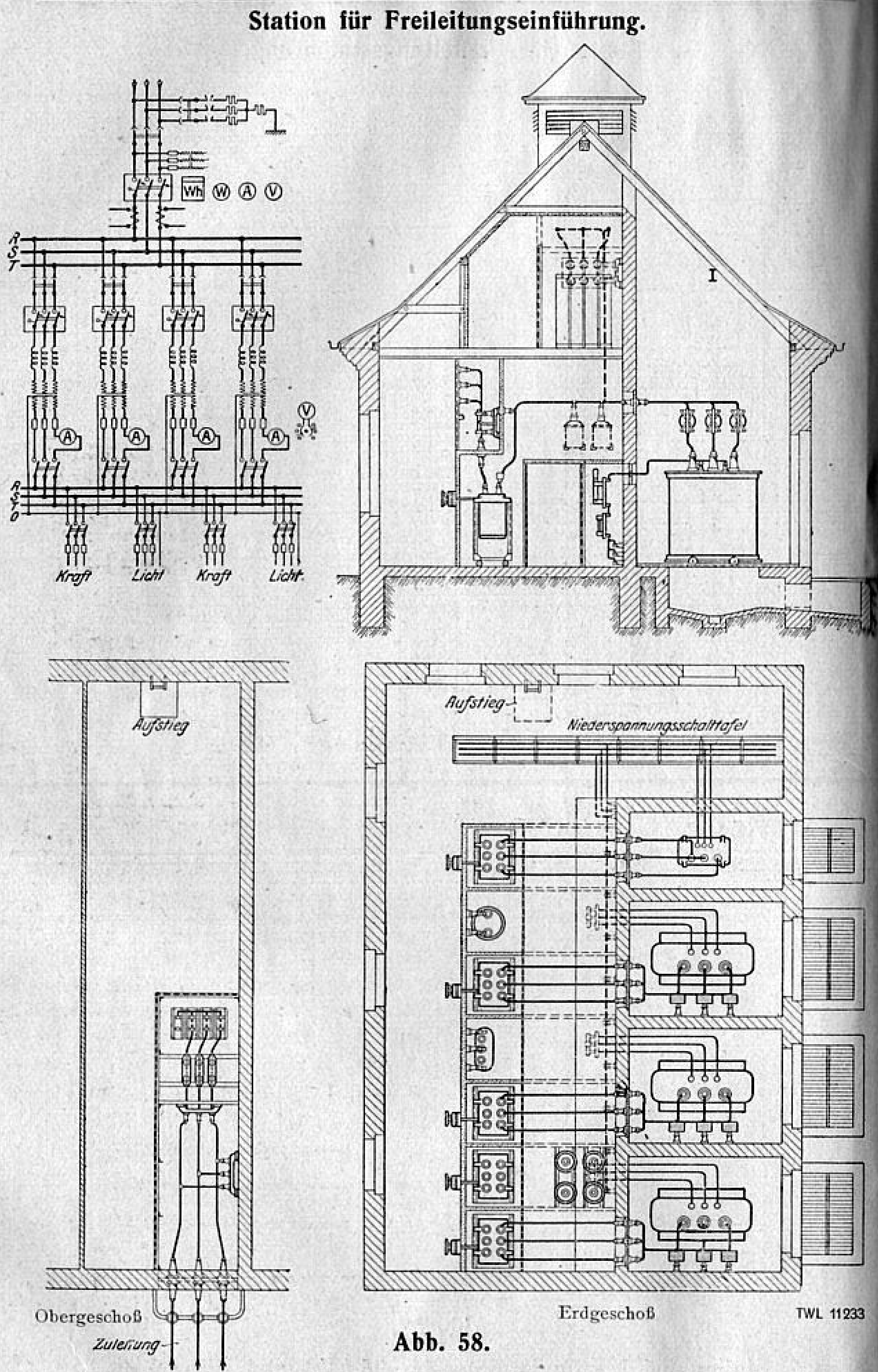


Abb. 58.

Station für größere Leistungen.

Fahrbare Transformatoren.

Zum Betriebe von Dreschmaschinen, Ent- und Bewässerungspumpen usw., also von Motoren, welche je nach Bedarf ihren Aufstellungsort wechseln müssen, benutzt man zweckmäßig fahrbare Transformatoren (Abb. 59), welche auch an entfernt gelegenen Stellen ohne nennenswerte Leitungsverluste einen Betrieb der Motoren mit Niederspannung ermöglichen.

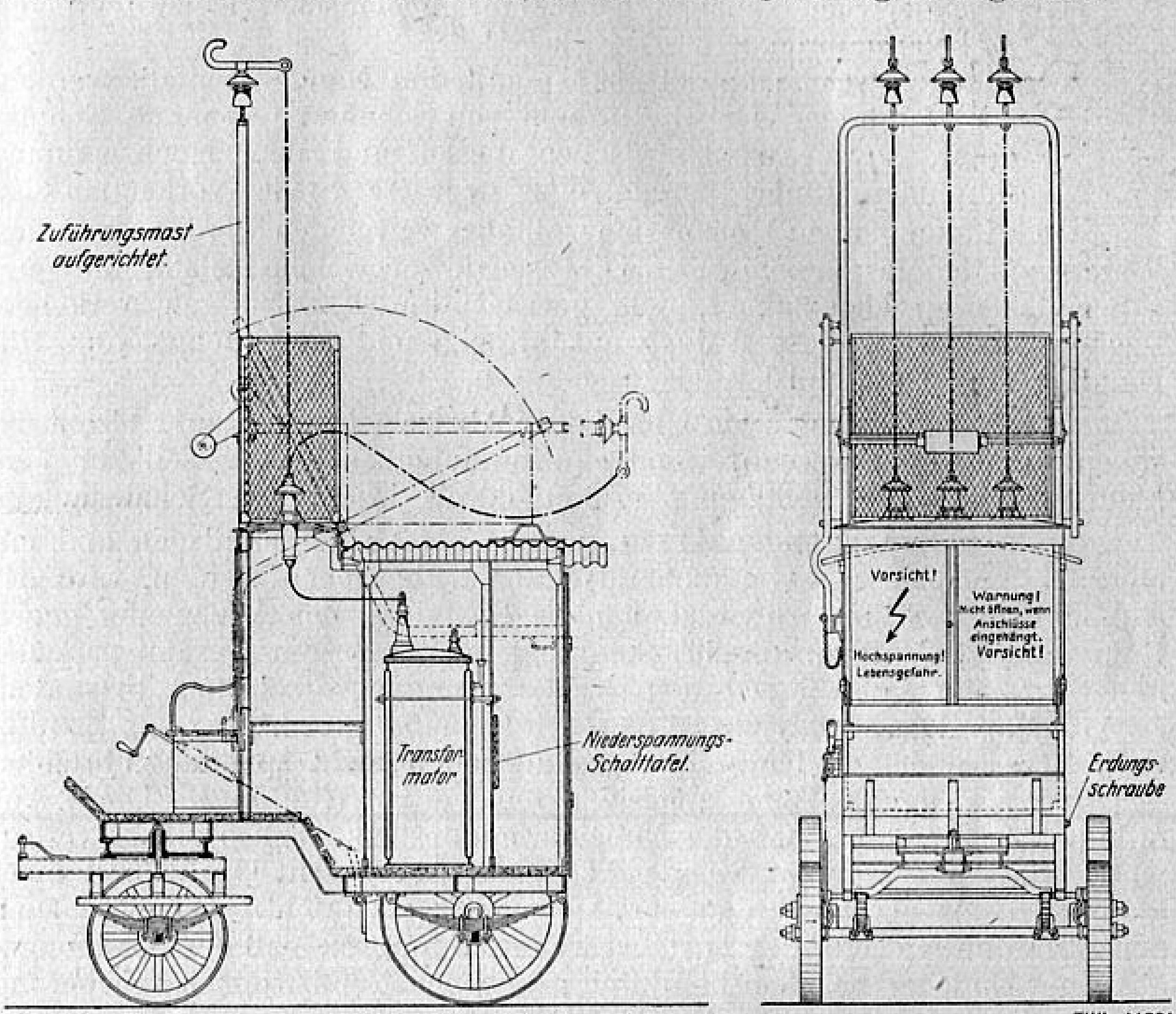


Abb. 59. Fahrbarer Transformator.

Der Anschluß an die Hochspannungsleitung erfolgt unter Benutzung der auf Seite 115 abgebildeten Abzweigschalter und dreier Anschlußleitungen, welche an beiden Enden Metallringe besitzen. Mit Rücksicht auf die besonderen Maßnahmen, welche bei der Inbetriebsetzung zur Vermeidung von Unfällen zu berücksichtigen sind, müssen Anleitungen hierzu jeweils eingeholt werden.

Erdungen. *

Bei Hochspannungsanlagen kommen nur Schutzerdungen in Betracht, bei Niederspannungsanlagen außerdem Betriebserdungen (Nullpunktserdungen) und Stallerdungen.

Schutzerdungen werden in **Hochspannungsanlagen** verlangt, um zu verhüten, daß der Berührung ausgesetzte Metallteile, welche betriebs-

* Man beachte die „Leitsätze des VDE. für Schutzerdungen in Hochspannungsanlagen und diejenigen für Erdungen und Nullung in Niederspannungsanlagen".

mäßig spannungslos sind, bei Uebertritt von Hochspannung eine gefährliche Spannung annehmen können. Zu diesen zu erdenden Teilen gehören:

Gehäuse von Maschinen, Transformatoren, Meßwandlern und Apparaten.

Sekundärwicklungen der Meßwandler, soweit es die Schaltung erlaubt,

Gerüste der Schaltanlagen, Durchführungsflansche, Isolatorenträger, Kabelarmaturen,

Metallteile, welche betriebsmäßig mit den Händen umfaßt werden, wie Handräder, Hebel, Kurbeln von Schaltern, Apparate, Schutzgitter, soweit nicht zwischen diesen und dem Hochspannung führenden Leiter bereits eine geerdete Stelle vorhanden ist.

Bei Leitungen an Holzmasten soll alles vermieden werden, was den Widerstand der Masten herabsetzt. Die Eisenstützen, welche Isolatoren tragen, sollen daher im allgemeinen nicht geerdet werden. Nur an verkehrsreichen Straßen ist diese Erdung anzubringen und die Erdungsleitung im Handbereich durch Holzleisten zu schützen.

Auch die Gestänge von Horn- oder Abzweigschaltern auf Holzmasten sollen nur geerdet werden, wenn ein fortlaufendes Erdungsseil zur Verfügung steht. Die Betätigung erfolgt durch isolierende Schaltstangen.

In **Niederspannungsanlagen,** welche als Mehrleiteranlagen und mit einer Gesamtspannung von mehr als 250 Volt betrieben werden, wird der Nullpunkt des Systems geerdet, um die Spannung der Außenleiter gegen Erde auf 250 Volt zu beschränken und, obgleich die Gesamtspannung höher ist, die Anlage nach den Niederspannungsvorschriften behandeln zu können. Diese **Betriebserdung** wird häufig gleichzeitig als **Schutzerdung** verwendet, indem die zu schützenden nicht spannungführenden Metallteile an den Nulleiter angeschlossen werden **(Nullung).** Diese Anordnung setzt voraus, daß der Nulleiter mindestens ebenso sicher verlegt wird, wie der spannungführende Außenleiter, und sein Querschnitt nicht kleiner ist, als der Sicherung der Außenleiter entspricht. Da diese auch den Strom im Nulleiter begrenzt, ist weiter zu fordern, daß der Spannungsabfall im Nulleiter bei dem hierdurch gegebenen Nennstrom der Sicherung keine gefährliche Größe (mehr als 40 Volt) annimmt.

Unter **Stallerdungen** in Niederspannungsanlagen versteht man das Erden von metallischen Konstruktionsteilen, welche nicht zur elektrischen Einrichtung gehören, aber gegen die Umgebung Spannungen annehmen können, welche für Tiere gefährlich sind. Sie werden nur in solchen Fällen angewendet, in denen ein besonderer Schutz der Tiere erwünscht ist. Sie dürfen mit Schutz- oder Betriebserdungen keine Verbindung haben.

Als **Erder** verwendet man gewöhnlich Erdplatten, Rohr- oder Banderder. Erdplatten werden verwendet, wenn der Grundwasserstand nicht tiefer als 2 bis 3 m ist und keine zu großen Schwankungen aufweist. Die Platte soll mindestens 1 qm groß, 3 mm stark und verzinkt sein. Sie soll bis 1m unter Grundwasserspiegel reichen. Es empfiehlt sich, die Platte senkrecht in das Erdreich zu stellen und von beiden Seiten fest einzustampfen und einzuschlämmen; bei wagerecht liegenden Platten kann das Erdreich absinken, die Platte selbst aber durch Steine usw. in ihrer Lage festgehalten werden, so daß Lufträume unter ihr entstehen. Ueber der Erdplatte kann ein Tonrohr von etwa 10 cm l. W. senkrecht aufgestellt und etwa bis 20 cm über Erde herausgeführt werden, so daß man in der Lage ist,

die Umgebung der Erdplatte regelmäßig durch Eingießen von Wasser zu befeuchten. Am besten wird gewöhnliches Kochsalz in dieses Rohr hineingeschüttet, damit durch die Salzlösung eine noch bessere Leitfähigkeit der Erde erzielt wird.

Rohrerder in Form von verzinkten Eisenrohren von 1—2 Zoll l. W. und 3 m Länge nimmt man, wo mit Sicherheit Grundwasser in 2 m Tiefe erreicht wird. Hier wird das Salz oder die Salzlösung um den Kopf des Rohres herumgeschüttet. Ferner kann das Rohr dort verwendet werden, wo man zur Verlegung einer Platte noch tiefer graben müßte. Durch Eintreiben des Rohres in das Erdreich können 1 bis 2 m Versenkungstiefe erspart werden. (Abb. 60.) Auch dann soll auf das Rohr ein Tonrohr aufgesetzt werden, welches bis über die Erdoberfläche reicht. Es empfiehlt sich, zwei bis drei Rohre in einem Mindestabstand von 2 m voneinander anzuordnen.

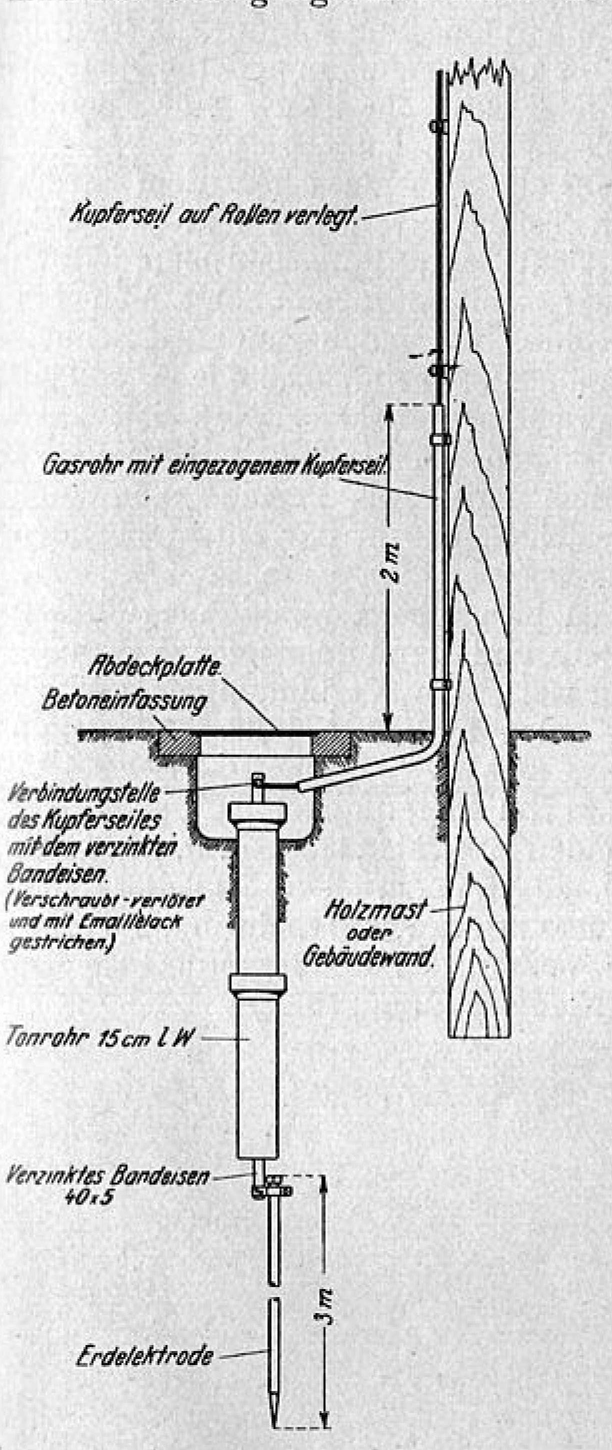


Abb 60.
Anordnung einer Erdung mit Rohrerder.

Banderder verwendet man dort, wo es möglich ist, langgestreckte Leitungen wagerecht unterzubringen, außerdem zur Unterstützung von Erdplatten oder Rohrerdern. Das verzinkte Eisenband hat in der Regel 3 mm Dicke und 25 mm Breite und wird mindestens 30 cm unter der Erdoberfläche netzartig ausgelegt. Die Mindestlänge beträgt 10 m. Die erforderliche Länge richtet sich neben dem erstrebten Erdungswiderstand nach der Bodenart.*

Als günstigstes Erdreich für Erdungen gilt Lehmboden, dann folgt Humusboden, Sand, Kies und schließlich fließendes Wasser. Wenn der Widerstand bei Lehmboden als 1 angenommen wird, ergeben sich bei sonst gleicher Ausführung der Erdung für Humusboden der doppelte, für Sand der dreifache, für Kies der zehnfache, für fließendes Wasser in d Regel noch mehr als der zehnfach Widerstand gegenüber Lehm. Daher ist in jedem Fall die Verlegung in der Erde derjenigen in fließendem Wasser vorzuziehen.

Ueber alle Erdungsstellen, welche in Rohren über der Erdoberfläche endigen, soll eine Abdeckung, ein Holzkasten oder dergl. gestellt werden, damit diese Stelle leicht erkennbar und zugänglich bleibt. Sehr

* Man beachte die Leitsätze des VDE. für Schutzerdungen in Hochspannungsanlagen.

zweckmäßig ist auch, das Tonrohr in einem Gulli endigen zu lassen, wie Abb. 60 zeigt, und dieses mit einer Abdeckplatte zu versehen. Die Erdungsstellen müssen regelmäßig, besonders oft in trockenen Zeiten, mit Wasser vollgegossen und gelegentlich mit frischem Salz versehen werden.

Die Erdzuleitungen müssen wie die Erdungen selbst für die volle zu erwartende Erdschlußstromstärke, welche von der vom Erdschlußstrom eventuell durchflossenen Sicherung abhängig ist, bemessen sein mit der Maßgabe, daß hierfür Querschnitte über 50 qmm bei Kupfer oder über 100 qmm bei verzinktem und verbleitem Eisen nicht verwendet zu werden brauchen. In Betriebsräumen muß der Kupferquerschnitt mindestens 16 qmm und der Eisenquerschnitt mindestens 35 qmm betragen. In anderen Räumen darf der Kupferquerschnitt 4 qmm nicht unterschreiten. Für Niederspannungsblitzschutz genügt gewöhnlich 35 qmm Kupfer.

Es ist von Wichtigkeit, daß die Leitungen zwischen dem Erder und der zu erdenden Stelle in allen Teilen zuverlässig und sorgfältig verlegt werden. Erdzuleitungen sollen sichtbar auf Porzellanrollen, jedoch möglichst nicht im Handbereich verlegt sein; dort empfiehlt sich ein Schutz gegen Beschädigung durch Rohre, bei Hochspannungs-Schutzerdungen durch Holzleisten. Der Verlauf der Erdungsleitungen soll in allen Teilen erkennbar sein; eine Verlegung im Mauerwerk ist, auch wegen der durch den Kalk hervorgerufenen chemischen Zersetzung, zu vermeiden. Die Leitung soll von dem Erder bis in die Innenräume möglichst aus verzinktem Bandeisen bestehen, das in der entsprechenden Länge ungeteilt bezogen werden kann.

Die Verbindung mit dem Erder ist besonders sorgfältig auszuführen und durch Vernietung mit Kupfernieten und darauffolgender Verlötung herzustellen. Außerdem ist empfehlenswert, die Verbindungen gut zu verzinnen und dann durch Anstrich oder andere Schutzmittel gegen Oxydation zu schützen.

Hochspannungsschutzerdungen und Nulleitererdungen sind unbedingt getrennt herzustellen und durch genügenden Erdwiderstand, d. h. genügenden Abstand voneinander (etwa 20 m), zu trennen. Der Nulleiter einer Drehstromniederspannungsleitung wird also zweckmäßig nicht in der Transformatorenstation geerdet, sondern im Verlauf des Leitungsstranges, also z. B. an einem der ersten Maste des Niederspannungsnetzes.

BEMESSUNG UND VERLEGUNG VON LEITUNGEN

I. Bemessung des Leitungsquerschnittes.

Elektrische Leitungen sind zunächst so zu bemessen, daß sie bei den vorliegenden Betriebsverhältnissen genügend mechanische Festigkeit haben und keine unzulässigen Erwärmungen annehmen können.

Bemessung auf mechanische Festigkeit.

(Nach den Errichtungs-Vorschriften des VDE.)

Art der Leitungen	Mindestquerschnitt qmm
An und in Beleuchtungskörpern	0,5
Pendelschnüre, runde Zimmerschnüre, leichte Gummischlauchleitungen	0,75
Ortsveränderliche Leitungen mit Ausnahme der Pendelschnüre usw.	1
Isolierte und umhüllte Leitungen in Rohr	1
Isolierte und umhülte Leitungen auf Isolierkörpern in Abständen bis 1 m	1
Isolierte und umhüllte Leitungen auf Isolierkörpern in Abständen von 1 bis 20 m	4
Blanke Leitungen in Rohr	1,5
Blanke Leitungen in Gebäuden	4
Blanke Leitungen im Freien auf Isolierkörpern in Abständen bis 20 m	4
Freileitungen für Niederspannung auf Isolierkörpern in Abständen von 20 bis 35 m	6
Freileitungen für Niederspannung auf Isolierkörpern in Abständen über 35 m	10
Freileitungen für Hochspannung	10
Erdzuleitungen (in elektr. Betriebsräumen 16 qmm) sonst	4

Bemessung auf Erwärmung.

Isolierte Leitungen und Schnüre dürfen mit den in nachstehender Tabelle verzeichneten Stromstärken dauernd belastet werden. Die Stromstärke, die eine Leitung durchfließt, ergibt sich aus dem Verbrauchsstrom der betreffenden Stromverbraucher. Ist der Verbrauchsstrom nicht bekannt, sondern nur der Wattverbrauch, so kann die Stromstärke an Hand der Tabelle im Anhang oder mit Hilfe der folgenden Rechentafeln ermittelt werden. Die Anwendung dieser Tafeln zeigt folgendes Beispiel:

Für die Leistung von 37 kW soll bei 380 Volt Drehstrom und $\cos \varphi = 0,65$ die Stromstärke ermittelt werden.

Auf der Tafel Seite 134 geht man von der Einteilung für Drehstrom kW senkrecht nach oben bis zur Linie 0,65 und dann wagrecht bis zur Linie 380 Volt, von hier senkrecht nach unten und erhält eine Stromstärke von 87 Amp. und einen Querschnitt von 35 qmm. In derselben Weise findet man auf der Tafel Seite 135 für die Leistung von 260 kW bei $\cos \varphi = 0,8$ und 6000 Volt eine Stromstärke von 31,3 Amp.

Blanke Kupferleitungen für Dauerbelastung bis zu 50 qmm unterliegen gleichfalls nachstehender Tabelle. Auf solche über 50 qmm sowie auf alle Freileitungen finden diese Zahlenbestimmungen keine Anwendung; sie sind in jedem Falle so zu bemessen, daß sie durch den stärksten normal vorkommenden Betriebsstrom keine für den Betrieb oder die Umgebung gefährliche Temperatur annehmen können.

Belastungstabelle für isolierte Kupferleitungen.

Querschnitt qmm	Dauerbetrieb Höchststrom Amp.	Dauerbetrieb Nennstrom d. Sicherung Amp.	Aussetzend. Betrieb Höchster Vollaststrom Amp.*	Querschnitt qmm	Dauerbetrieb Höchststrom Amp.	Dauerbetrieb Nennstrom d. Sicherung Amp.	Aussetzend. Betrieb Höchster Vollaststrom Amp.*
1	11	6	11	**95**	240	200	335
1,5	14	10	14	**120**	280	225	400
2,5	20	15	20	**150**	325	260	460
4	25	20	25	**185**	380	300	530
6	31	25	31	**240**	450	350	630
10	43	35	60	**300**	525	430	730
16	75	60	105	**400**	640	500	900
25	100	80	140	**500**	760	600	—
35	125	100	175	**625**	880	700	—
50	160	125	225	**800**	1050	850	—
70	200	160	280	**1000**	1250	1000	—

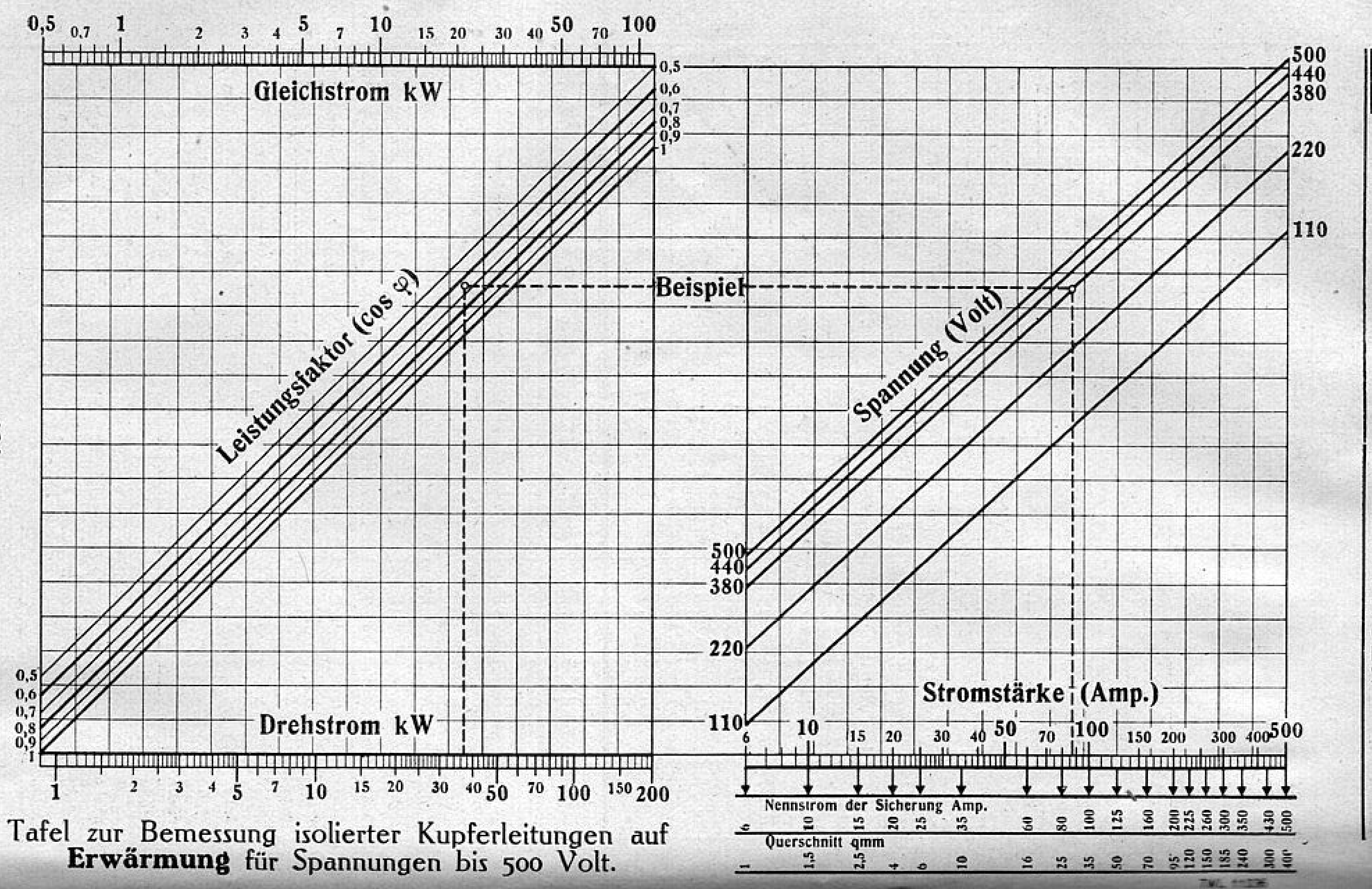
* Diese Werte sind nur zulässig, wenn die Dauer der Einschaltung 4 Minuten nicht überschreitet.

Belastungstabelle für im Erdboden verlegte Kupferkabel.

Höchste, dauernd zulässige Stromstärke in Amp. bei Verlegung im Erdboden

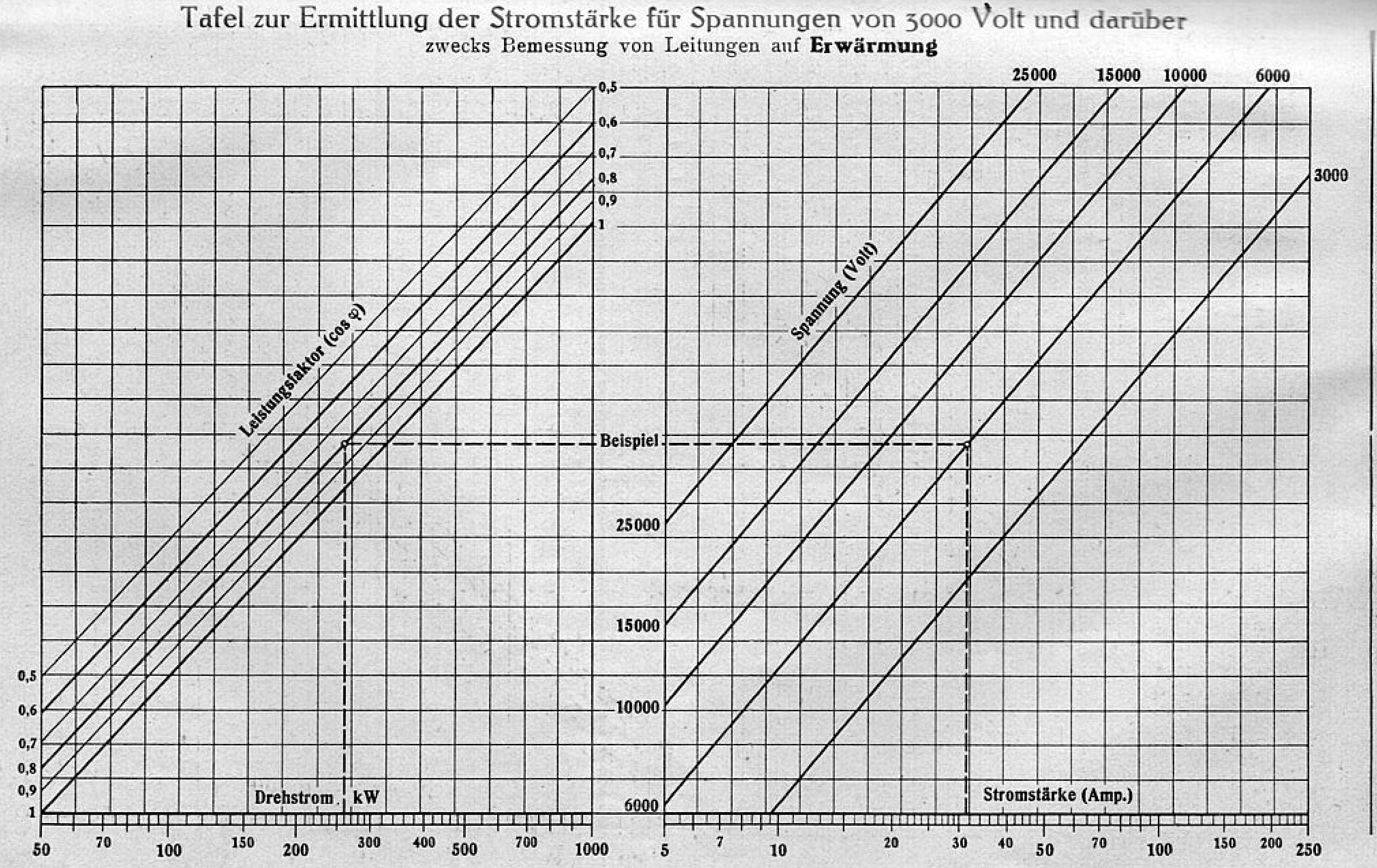
Querschnitt qmm	Einleiterkabel bis 750 Volt	Verseilte Zweileiterkabel bis 3000 Volt	Verseilte Zweileiterkabel bis 10000 Volt	Verseilte Dreileiterkabel bis 3000 Volt	Verseilte Dreileiterkabel bis 10000 Volt	Verseilte Vierleiterkabel bis 3000 Volt	Verseilte Vierleiterkabel bis 10000 Volt
1	24	19	—	17	—	16	—
1,5	31	25	—	22	—	20	—
2,5	41	33	—	29	—	26	—
4	55	42	—	37	—	34	—
6	70	53	—	47	—	43	—
10	95	70	65	65	60	57	55
16	130	95	90	85	80	75	70
25	170	125	115	110	105	100	95
35	210	150	140	135	125	120	115
50	260	190	175	165	155	150	140
70	320	230	215	200	190	185	170
95	385	275	255	240	225	220	205
120	450	315	290	280	260	250	240
150	510	360	335	315	300	290	275
185	575	405	380	360	340	330	310
240	670	470	—	420	—	385	—
300	760	530	—	475	—	430	—
400	910	635	—	570	—	—	—
500	1035	—	—	—	—	—	—
625	1190	—	—	—	—	—	—
800	1380	—	—	—	—	—	—
1000	1585	—	—	—	—	—	—

Bei Verlegung von Kabeln in Luft oder bei Anordnung in Kanälen und dergl., Anhäufung von Kabeln im Erdboden oder ähnlichen ungünstigen Verhältnissen empfiehlt es sich, die Höchstbelastung auf 3/4 der in der Tabelle angegebenen Werte zu ermäßigen. Der Tabelle ist eine Uebertemperatur von 25 °C bei Dauerbelastung und die übliche Verlegungstiefe von etwa 70 cm zugrunde gelegt. Sie gilt, solange nicht mehr als 2 Kabel im gleichen Graben nebeneinander liegen. Gesondert verlegte Mittelleiter bleiben hierbei unberücksichtigt.



Tafel zur Bemessung isolierter Kupferleitungen auf **Erwärmung** für Spannungen bis 500 Volt.

Tafel zur Ermittlung der Stromstärke für Spannungen von 3000 Volt und darüber
zwecks Bemessung von Leitungen auf **Erwärmung**



Bemessung auf Spannungsabfall und Leistungsverlust.

Elektrische Leitungen sind außer auf Festigkeit und Erwärmung auch so zu bemessen, daß unter den vorliegenden Betriebsverhältnissen die Stromverbraucher eine ausreichende Spannung erhalten. Der Spannungsabfall darf daher ein für die jeweiligen Betriebsverhältnisse zulässiges Maß nicht überschreiten. Als ungefährer Anhalt gelte für Lichtanlagen 4%, für Kraftanlagen 6% als oberste Grenze. Zum Zwecke der Leitungsberechnung wird der Spannungsabfall in Volt umgerechnet. 5% Spannungsabfall bei 380 Volt Betriebsspannung entspricht z.B. einem Spannungsabfall von 19 Volt.

Bei gegebenem Leitungsquerschnitt wird der Spannungsabfall in Volt nach den hierunter links angegebenen Formeln berechnet. Für einen bestimmten Spannungsabfall in Volt wird der notwendige Leitungsquerschnitt nach den hierunter rechts angegebenen Formeln berechnet.

Formeln für die Berechnung des Spannungsabfalles und des Querschnittes.

Stromart	Der Spannungsabfall in Volt berechnet sich:	Der Querschnitt berechnet sich:
Gleichstrom und Zweileiter-Wechselstrom (bei induktionsfreier Belastung)	wenn die Stromstärke bekannt ist: $e = \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot q}$	$q = \frac{2 \cdot L \cdot I}{k \cdot e}$
	oder wenn die Leistung bekannt ist: $e = \frac{2 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E}$	oder $q = \frac{2 \cdot L \cdot N}{k \cdot e \cdot E}$
Drehstrom	wenn die Stromstärke bekannt ist: $e = \frac{1{,}73 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{k \cdot q}$	$q = \frac{1{,}73 \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{k \cdot e}$
(Ueber die Berücksichtigung des induktiven Widerstandes der Freileitungen Seite 137.)	oder wenn die Leistung bekannt ist: $e = \frac{L \cdot N}{k \cdot q \cdot E}$	oder $q = \frac{L \cdot N}{k \cdot e \cdot E}$

Für die Bemessung des Querschnittes kann neben dem Spannungsabfall auch der Leistungsverlust ausschlaggebend sein, der in der zu bestimmenden Leitung entsteht. Er wird meist in Prozenten der übertragenen Leistung angegeben und berechnet sich nach folgenden Formeln:

Formeln für die Berechnung des Leistungsverlustes.

Für Gleichstrom	$p = \frac{200 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E \cdot E}$	Für Drehstrom	$p = \frac{100 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E \cdot E \cdot \cos\varphi \cdot \cos\varphi}$

In den Formeln bedeuten:

E die Betriebsspannung: in Zweileiteranlagen zwischen den beiden Leitungen, in Gleichstrom-Dreileiteranlagen zwischen den beiden Außenleitungen, in Drehstromanlagen zwischen je zwei der Zuleitungen (nicht zwischen Zuleitung und Nulleitung).
e den Abfall der Spannung in Volt vom Anfang bis zum Ende der Leitung.
N die übertragene Leistung in Watt.
p den Leistungsverlust vom Anfang bis zum Ende der Leitung in Prozenten.
I die Stromstärke in einer Leitung.
L die Länge der zu betrachtenden Leitungsstrecke in m.
q den Querschnitt der fraglichen Leitung in qmm.
k die Leitfähigkeit; für Kupfer 56.

Die nach den angegebenen Formeln errechneten Werte für den Spannungsabfall e und den Leitungsquerschnitt q gelten bei Leitungen für Wechselstrom und Drehstrom ohne induktiven Widerstand, z. B. für Installationsleitungen in Gebäuden, die mit geringem Abstand voneinander verlegt sind, für Leitungen in gemeinsamen Rohren und für Kabel. Freileitungen, die meist einen erheblichen Abstand voneinander haben, besitzen bei Wechselstrom und Drehstrom induktiven Widerstand. Dieser wird bei der Berechnung von Freileitungen dadurch berücksichtigt, daß die errechneten Werte für e und q mit den für die betreffenden Verhältnisse in Frage kommenden nachstehend angegebenen Zahlen multipliziert werden.

Berücksichtigung des induktiven Widerstandes von Freileitungen bei der Berechnung auf Spannungsabfall

durch Multiplikation der errechneten Werte für e und q mit nachstehenden Zahlen.

Querschnitt qmm	$\cos \varphi = 0,9$ Leiterabstand cm			$\cos \varphi = 0,8$ Leiterabstand cm			$\cos \varphi = 0,7$ Leiterabstand cm			$\cos \varphi = 0,6$ Leiterabstand cm		
	40	50	60	40	50	60	40	50	60	40	50	60
10	1,1	1,1	1,1	1,15	1,16	1,16	1,2	1,21	1,22	1,27	1,28	1,29
16	1,15	1,15	1,16	1,23	1,24	1,25	1,31	1,32	1,34	1,41	1,43	1,44
25	1,22	1,23	1,24	1,34	1,36	1,37	1,47	1,49	1,5	1,61	1,63	1,65
35	1,3	1,31	1,32	1,47	1,48	1,5	1,63	1,66	1,68	1,83	1.86	1,89
50	1,41	1,43	1,45	1,64	1,67	1,7	1,87	1,91	1,94	1,14	1,19	1,24
70	1,56	1.59	1,61	1,86	1,9	1,94	2,17	2,23	2,28	2,54	2,62	2,68
95	1,73	1,77	1,8	2,13	2,19	2,24	2,54	2,61	2,68	3,02	3,12	3,2

Außer der rechnerischen Ermittlung von Leitungsquerschnitten mittels der angegebenen Formeln geben die Rechentafeln auf Seite 138—141 die Möglichkeit, den unter Berücksichtigung des Leistungsverlustes erforderlichen Querschnitt direkt abzulesen. Den Tafeln sind die Formeln für den Leistungsverlust auf Seite 136 zugrunde gelegt.

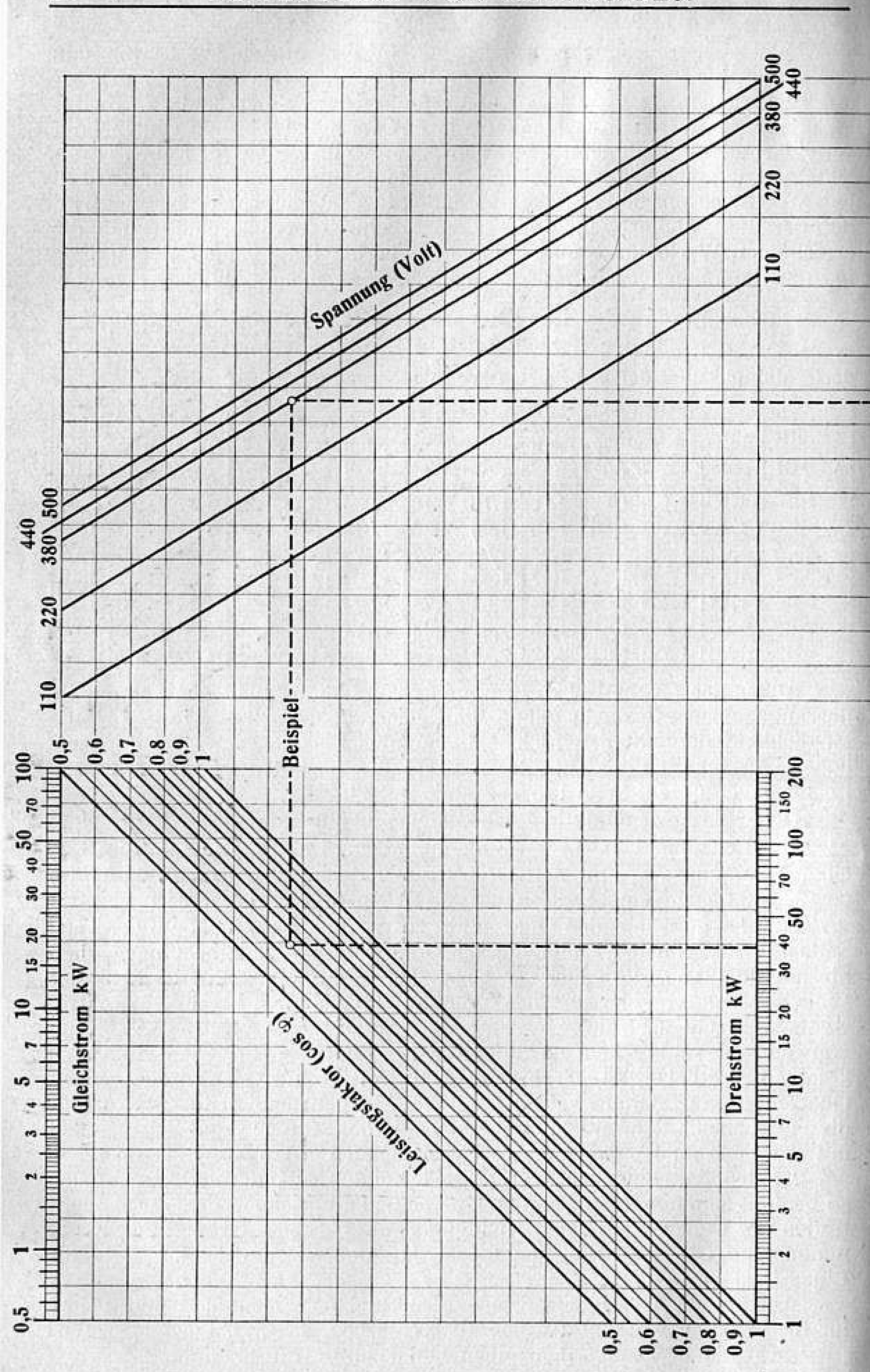
Ueber die Anwendung der Rechentafeln gibt folgendes Beispiel Aufschluß:

Die Leistung von 37 kW soll bei einem Leistungsverlust von 2%, einer Spannung von 380 Volt Drehstrom und einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0,65$ auf eine Entfernung von 70 m übertragen werden.

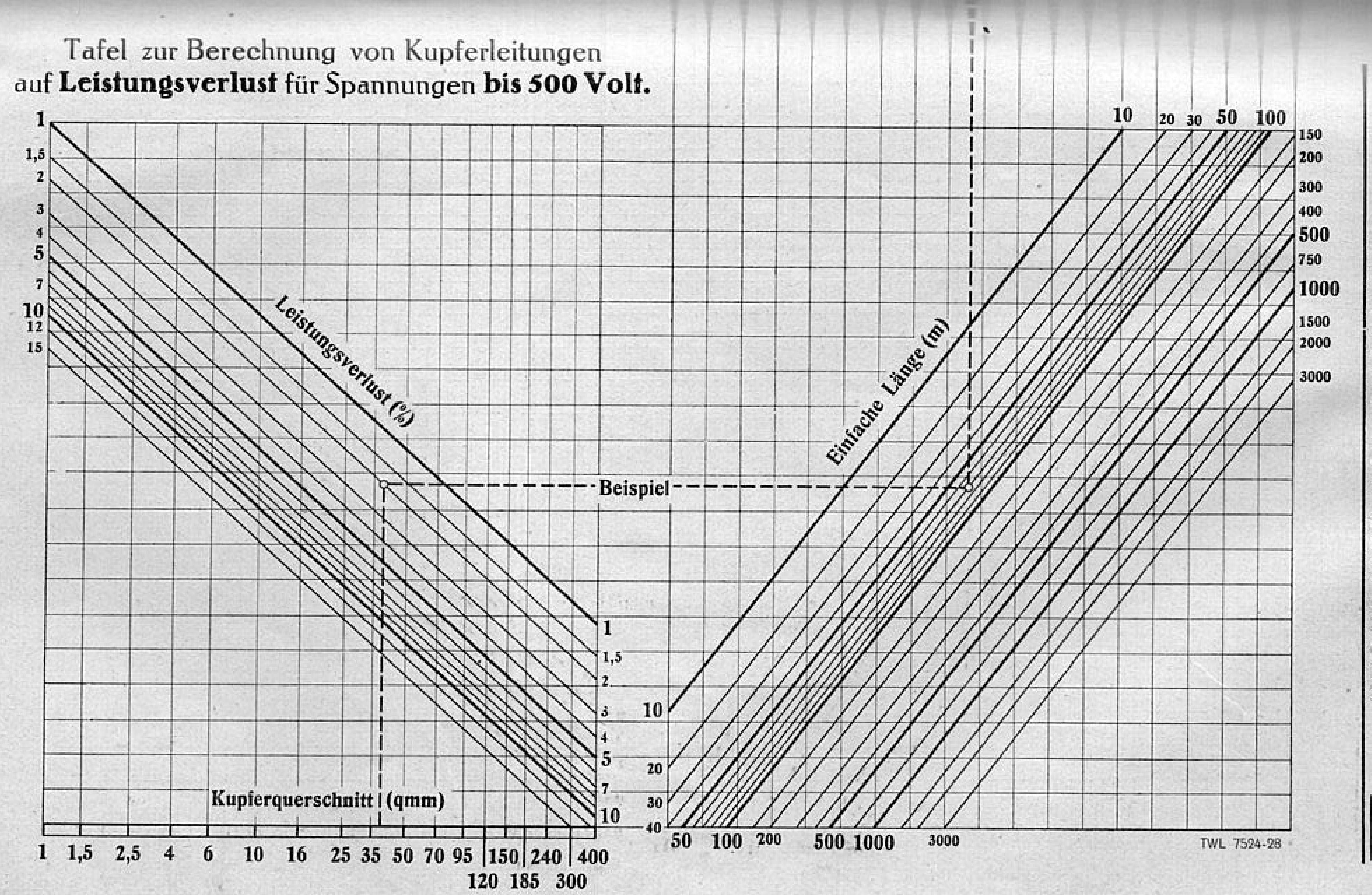
Um den zu wählenden Querschnitt zu ermitteln, geht man auf der Tafel Seite 138/139 von der Einteilung für Drehstrom-kW senkrecht nach oben bis zur Linie 0,65. Von hier aus verfolgt man die wagerechte Linie bis zur Linie 380 Volt, von hier aus weiter senkrecht nach unten bis zur Linie 70 m, weiter wagrecht nach links bis zur Linie des Leistungsverlustes von 2%, um von hier aus senkrecht nach unten auf die Einteilung der Querschnitte zu kommen. Hierbei ergibt sich ein Querschnitt von 38 qmm. Man wird also einen Querschnitt von 50 qmm wählen. Will man den genauen Leistungsverlust für diesen Querschnitt ermitteln, so geht man rückwärts bis zum Schnittpunkt mit der horizontalen Linie und ermittelt einen Leistungsverlust von 1,5%.

Ist nicht der Querschnitt zu ermitteln, sondern eine der anderen Größen, so beginnt man mit den bekannten Größen und ermittelt aus dem Zusammentreffen der Linien von beiden Richtungen die gesuchte Größe. Für Rechnungen mit Gleichstromleistungen ist für den Leistungsfaktor stets die Linie 1 zu verwenden.

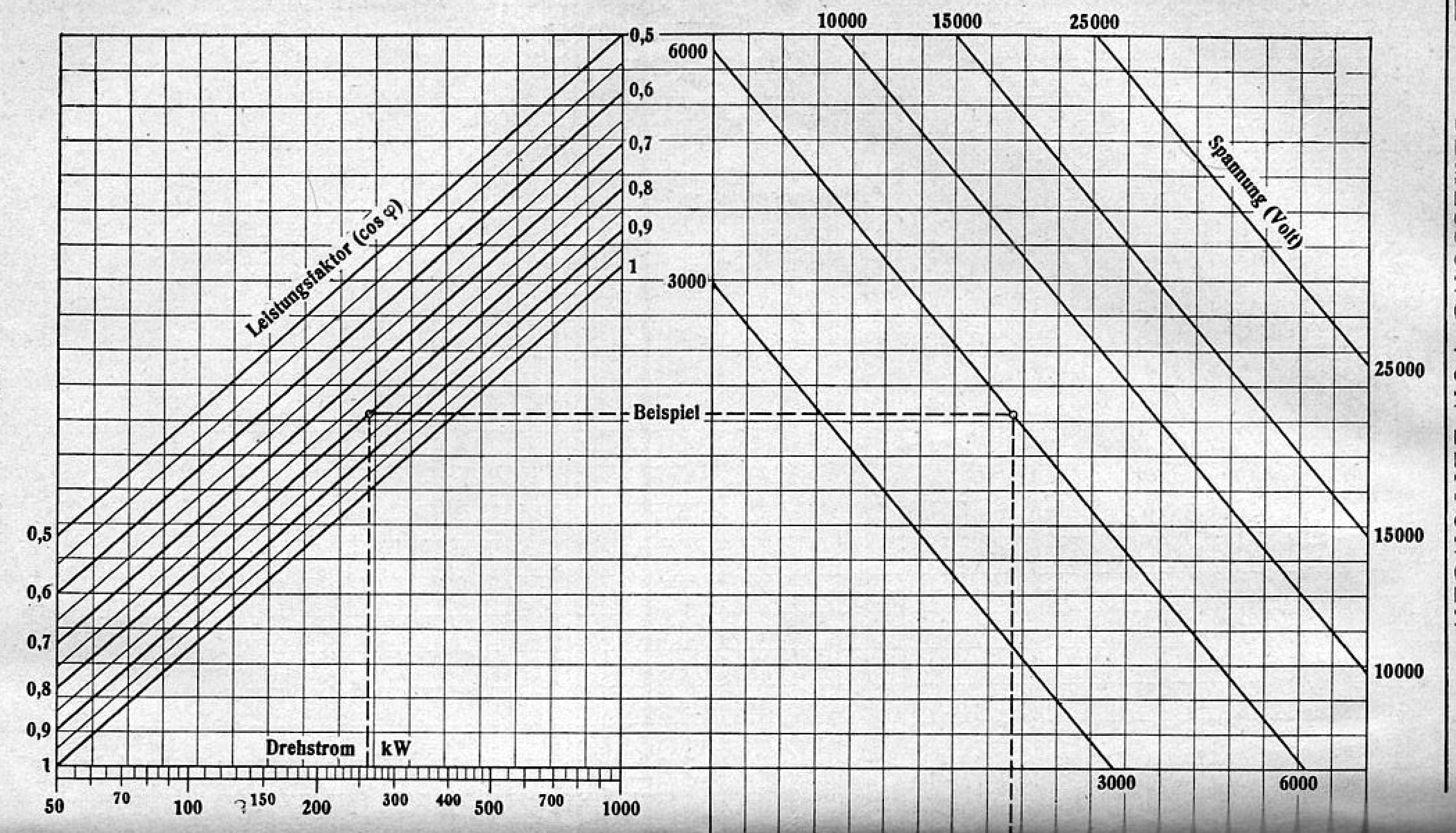
Auf dieselbe Art findet man auf der Tafel für Hochspannung, Seite 140/141, für die Leistung von 260 kW bei 6000 Volt, $\cos \varphi = 0,8$, Leistungsverlust $p = 5\%$ und 6000 m Länge einen Querschnitt von 25 qmm.

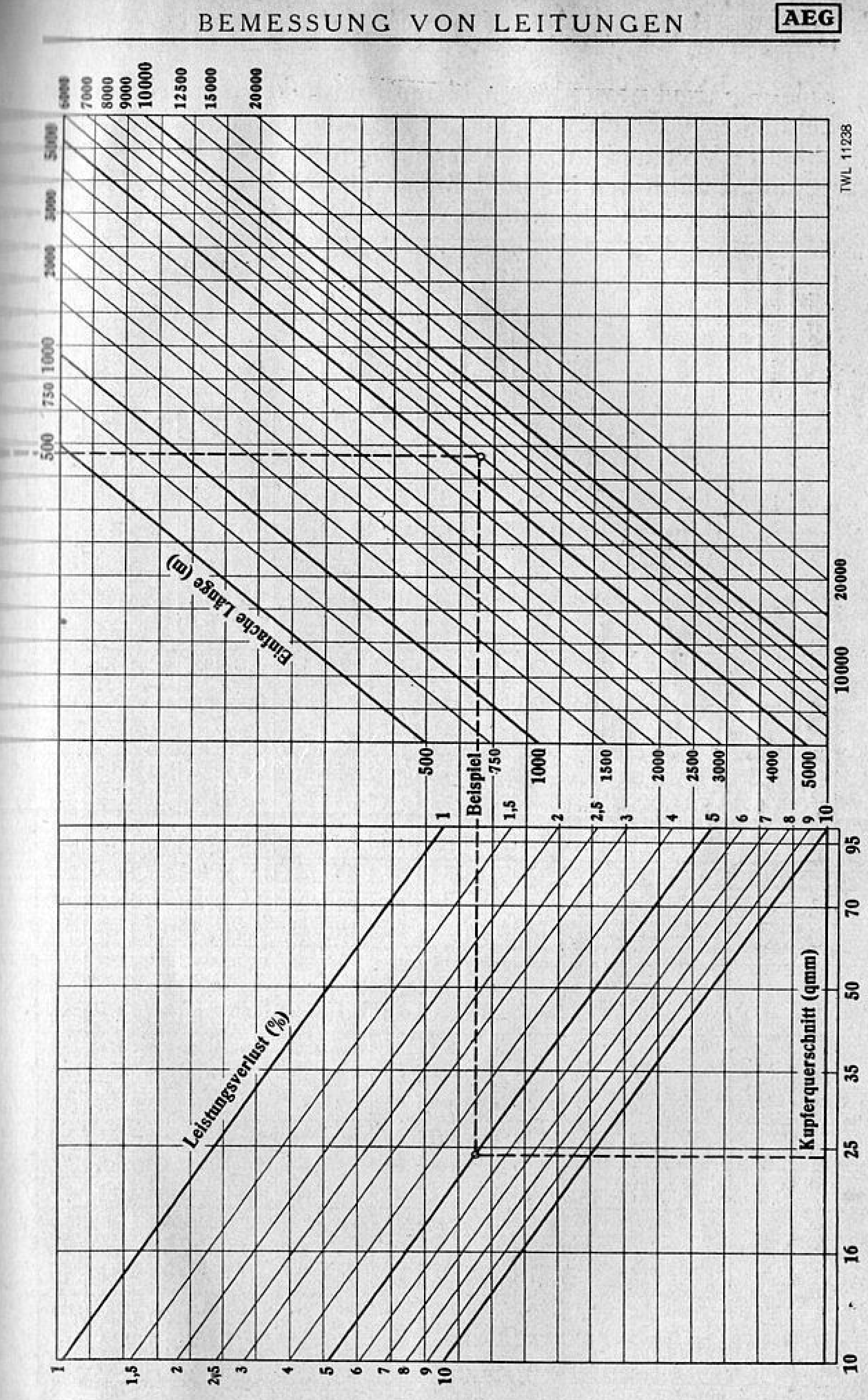

Spannung (Volt)
500
440
380
220
110
Beispiel
0,5
0,6
0,7
0,8
0,9
1
Gleichstrom kW
100
70
50
40
30
20
15
10
7
5
4
3
2
1
0,5
Drehstrom kW
200
150
100
70
50
40
30
20
15
10
7
5
4
3
2
1
Leistungsfaktor (cos φ)

Tafel zur Berechnung von Kupferleitungen auf **Leistungsverlust** für Spannungen **bis 500 Volt.**



Tafel zur Berechnung von Kupferleitungen auf **Leistungsverlust** für Spannungen **von 3000 Volt u. darüber.**




Einfache Länge (m)
Leistungsverlust (%)
Kupferquerschnitt (qmm)
Beispiel
TWL 11238
500 750 1000 1500 2000 2500 3000 4000 5000 6000 7000 8000 9000 10000 12500 15000 20000
1 1,5 2 2,5 3 4 5 6 7 8 9 10
10 16 25 35 50 70 95

Zulässige Dauerstromstärken, Nennstromstärken der Sicherungen, Leistungen, die übertragen werden können, und Spannungsabfall in Volt und Prozent für je 100 m Strecke bei Belastung des induktionsfreien Kupfer-Leitungsquerschnittes mit der Nennstromstärke der Sicherung.

Querschnitt	Höchststrom	Nennstrom d. Sichrg			Gleichstrom			Drehstrom							
								110 Volt		220 Volt		380 Volt		500 Volt	
					110 Volt	220 Volt	440 Volt	cos φ		cos φ		cos φ		cos φ	
qmm	Amp.	Amp.						1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8	1,0	0,8
1,5	14	10	Belastung	kW	1,1	2,2	4,4	1,9	1,52	3,8	3,04	6,6	5,25	8,65	6,9
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	24,0	24,0	24,0	20,5	16,6	20,5	16,6	20,5	16,6	20,5	16,6
				%	21,5	10,8	5,4	18,6	15,0	9,3	7,5	5,4	4,3	4,1	3,3
2,5	20	15	Belastung	kW	1,65	3,3	6,6	2,86	2,28	5,7	4,55	9,85	7,85	13,0	10,4
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	21,5	21,5	21,5	18,6	14,9	18,6	14,9	18,6	14,9	18,6	14,9
				%	19,4	9,7	4,8	16,8	13,4	8,4	6,7	4,9	3,9	3,7	3,0
4	25	20	Belastung	kW	2,2	4,4	8,8	3,8	3,04	7,6	6,1	13,2	10,5	17,3	13,8
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	17,8	17,8	17,8	15,6	12,4	15,6	12,4	15,6	12,4	15,6	12,4
				%	16,2	8,1	4,1	14,2	11,2	7,1	5,6	4,3	3,5	3,1	2,5
6	31	25	Belastung	kW	2,75	5,5	11,0	4,75	3,8	9,5	7,6	16,5	13,1	21,8	17,3
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	15,0	15,0	15,0	12,8	10,2	12,8	10,2	12,8	10,2	12,8	10,2
				%	13,6	6,8	3,4	11,6	9,3	5,8	4,7	3,4	2,7	2,6	2,0
10	43	35	Belastung	kW	3,85	7,7	15,4	6,7	5,3	13,3	10,6	23,0	18,4	30,4	24,2
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	12,6	12,6	12,6	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7	10,8	8,7
				%	11,4	5.7	2,8	9,9	7,9	4.9	3,9	2,8	2,3	2,2	1,7
16	75	60	Belastung	kW	6,6	13,2	26,4	11,4	9,1	22,8	18,2	39,6	31,6	52,0	41,5
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	13,4	13,4	13,4	11,6	9,3	11,6	9,3	11,6	9,3	11,6	9,3
				%	12,2	6,1	3,1	10,6	8,5	5,3	4,2	3,0	2,4	2,3	1,9
25	100	80	Belastung	kW	8,8	17,6	35,2	15,2	12,2	30,4	24,4	52,5	42,0	69,5	55,5
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	11,4	11,4	11,4	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9	9,9	7,9
				%	10,4	5,2	2,6	9,0	7,2	4,5	3.6	2,6	2,1	2,0	1,6
35	125	100	Belastung	kW	11.0	22,0	44,0	19,0	15,2	38,0	30,4	66,0	52,5	86,5	69.0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	10,2	10,2	10,2	8,9	7,1	8,9	7,1	8,9	7,1	8,9	7,1
				%	9,3	4,6	2,3	8,1	6,5	4,0	3,2	2,3	1,9	1,8	1,4
50	160	125	Belastung	kW	13,8	27,5	55,0	23,8	19,0	47,5	38,0	82,0	66,0	108,0	87,0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	8,9	8,9	8,9	7,8	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2	7,8	6,2
				%	8,1	4,0	2,0	7,0	5,6	3,5	2,8	2,0	1,6	1,6	1,2
70	200	160	Belastung	kW	17,6	35,2	70,5	30,4	24,4	61,0	48,5	105,0	84,0	138,0	111,0
			Spannungsabfall f. 100 m einfach. Länge	Volt	8,2	8.2	8,2	7,1	5,7	7,1	5,7	7,1	5,7	7,1	5,7
				%	7,4	3,7	1.9	6,4	5,1	3,2	2,6	1,9	1.5	1.4	1,1

Spannungsabfall in Volt für induktionsfreie Kupferleitungen bei 220 Volt Drehstrom oder 440 Volt Gleichstrom.

L. N Länge × kW	Leitungsquerschnitt in qmm													
	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150
10	0,81	0,540	0,325	0,203	0,136	0,081	0,051	0,033	0,023	0,016	0,0116	0,0086	0,0068	0,0054
100	8,10	5,40	3,25	2,03	1,36	0,81	0,510	0,325	0,230	0,162	0,116	0,086	0,068	0,054
110	8,90	5,95	3,60	2,25	1,50	0,89	0,560	0,360	0,255	0,178	0,128	0,094	0,074	0,060
120	9,70	6,50	3,90	2,45	1,62	0,97	0,610	0,390	0,280	0,194	0,138	0,104	0,081	0,065
130	10,6	7,00	4.25	2,65	1,75	1,06	0,660	0,425	0,300	0,210	0,150	0,112	0,088	0,070
140	11.4	7,60	4,55	2,85	1,90	1,14	0,710	0,455	0,325	0,225	0,162	0,120	0,095	0,076
150	12,2	8,10	4,90	3,05	2,00	1,22	0,760	0,490	0,350	0,245	0,174	0,130	0,100	0,081
160	13,0	8,60	5,20	3,25	2,15	1,30	0,810	0,520	0,370	0,260	0,186	0,138	0,108	0,087
170	13,8	9,20	5,50	3,45	2,30	1,38	0,870	0,550	0,395	0,275	0,198	0,146	0,116	0,092
180	14,6	9,80	5,85	3,65	2,45	1,46	0,920	0,590	0,420	0,290	0,210	0,154	0,122	0,098
190	15.4	10,2	6.20	3,85	2,55	1,54	0,970	0,620	0,440	0,305	0,220	0,164	0,130	0,102
200	16,2	10,8	6,50	4,05	2,70	1,62	1,02	0,650	0,465	0,325	0,230	0,170	0,136	0,108
220	17,8	11,8	7,15	4,50	2,95	1,78	1,12	0,720	0,510	0,355	0,255	0,190	0,150	0,118
240	19,6	13,0	7,80	4,90	3,25	1,96	1,22	0,780	0,560	0,390	0,280	0,205	0,162	0,130
260	21,2	14,0	8,45	5,30	3,50	2,10	1,32	0,850	0,600	0,420	0,300	0,225	0,176	0,140
280	22,8	15.2	9,10	5,70	3.80	2,30	1,42	0,910	0,650	0,455	0,325	0,240	0,190	0,152
300	24,4	16,2	9,75	6,10	4,05	2,45	1,52	0.980	0,700	0,485	0,350	0,255	0,205	0,162
320	26,0	17,4	10,4	6,50	4,35	2,60	1,64	1,04	0,740	0,520	0,370	0,275	0,215	0,174
340	27,6	18,4	11,2	7,00	4,60	2,75	1,74	1,12	0,790	0,550	0,395	0,290	0,230	0,184
360	29,4	19,6	11,8	7,40	4,85	2,95	1,84	1,18	0,830	0,580	0,415	0,310	0,245	0,196
380	30.8	20.5	12.4	7,80	5,20	3,10	1,94	1,24	0,880	0,620	0,440	0,325	0,260	0,205
400	32,5	21,5	13,0	8,12	5,40	3,25	2,05	1,30	0,930	0,650	0,465	0,340	0,270	0,215
450	36,5	24,5	14,6	9,20	6,10	3,65	2,30	1,46	1,04	0,730	0,520	0,385	0,305	0,245
500	40,5	27,0	16,2	10,2	6,80	4,05	2,55	1,62	1,16	0,810	0,580	0,430	0,340	0,270
550	44,5	30.0	18.0	11,2	7,50	4,45	2,80	1,80	1,28	0,890	0,640	0,470	0,370	0,300
600	48,5	32,5	19,6	12,2	8,10	4,90	3,05	1,96	1,40	0,970	0.700	0,520	0,405	0,325
650	53,0	35,0	21,0	13,2	8,80	5,30	3,30	2,10	1,50	1,06	0,760	0,560	0,440	0,350
700	57,0	38,0	23,0	14,2	9,50	5,70	3,55	2,30	1,62	1,14	0,810	0,600	0,475	0,380
750	61,0	40.5	24,5	15.2	10,2	6,10	3,80	2,45	1.74	1,22	0,870	0,640	0,505	0,405
800	65,0	43,5	26,0	16,2	10,8	6,50	4.05	2,60	1,86	1,30	0,930	0,690	0,540	0,435
850	69,0	46,0	27,5	17,2	11,6	6,90	4,30	2,75	1,98	1,38	0,990	0,730	0,575	0,460
900	73,0	49,0	29,0	18,2	12,2	7,30	4,55	2,90	2,10	1,46	1,04	0,770	0,610	0,490
950	77,0	51.0	31,0	19,4	12.8	7,70	4,85	3,10	2.20	1,54	1,10	0,820	0,640	0,510
1000	81.0	54,0	32,5	20,3	13,6	8,10	5,10	3,25	2,30	1,62	1,16	0,860	0,680	0,540

Obige Tabelle ist auf Grund der auf Seite 136 angegebenen Formeln berechnet worden. Für andere Spannungen als 220 Volt Drehstrom und 440 Volt Gleichstrom sind die Werte mit den entsprechenden nachstehenden Hilfszahlen zu multiplizieren. Soll obige Tabelle für die Berechnung von Freileitungen, also von

Stromart	Gleichstrom				Drehstrom			
	110 Volt	220 Volt	440 Volt	500 Volt	110 Volt	220 Volt	380 Volt	500 Volt
Hilfszahl	4	2	1	0,9	2	1	0,6	0,45

Leitungen mit induktivem Widerstand, verwendet werden, so müssen die Werte außer mit der betreffenden Hilfszahl noch mit der entsprechenden Zahl aus der Tabelle Seite 137 multipliziert werden.

Beispiele für die Anwendung der Formeln Seite 136 und der Tabellen Seite 142 und 143.

In der **Tabelle auf Seite 143** sind die Werte L · N in Abständen angegeben, welche es gestatten, etwa noch dazwischen liegende Werte mit genügender Genauigkeit zu schätzen. Bei Werten von L · N unter 100 ist zunächst der zehnfache Betrag aufzusuchen und das Resultat durch 10 zu teilen. Bei Werten von L · N uber 1000 ist zunächst $^1/_{10}$ dieses Wertes anzuwenden und das Resultat mit 10 zu multiplizieren.

Beispiel 1.

Gegeben: L · N = 55. Leitungsquerschnitt 4 qmm, 440 Volt Gleichstrom.

Gesucht: Spannungsabfall?

Lösung: Für L · N = 550 und 4 qmm ist e = 11,2 Volt;
für L · N = 55 und 4 qmm ist e = 11,2 : 10 = 1,12 Volt.

Beispiel 2.

Gegeben: N = 12000 Watt für Motoren. L = 570 m. Freileitung, Drehstrom 220 Volt. Spannungsabfall 8 % = 17,6 Volt cos φ = 0,8. Leiterabstand 50 cm.

Gesucht: Querschnitt?

Lösung: Leistung ist bekannt, für Drehstrom gilt nach Seite 136 die Formel

$$q = \frac{L \cdot N}{k \cdot e \cdot E}; \text{ mithin ist } q = \frac{570 \cdot 12000}{56 \cdot 17{,}6 \cdot 220} = 31{,}5 \text{ qmm}$$

Weil Freileitung mit Motorenbelastung, ist nach Seite 137 q mit **1,48** zu multiplizieren. q = 31,5 · 1,48 = 46,6 man wählt jedoch 50 qmm.

Beispiel 3.

Gegeben: Dieselben Betriebsverhältnisse wie im Beispiel 2.

Gesucht: Leistungsverlust?

Lösung: Nach der Formel auf Seite 136 ist der prozentuale Leistungsverlust

$$p = \frac{100 \cdot 570 \cdot 12000}{56 \cdot 50 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}8 \cdot 0{,}8} = 8\ \%$$

Beispiel 4.

Gegeben: N = 2000 (= 2 kW), L = 55 m Leitung in Rohr, Stromart Gleichstrom 220 Volt, Spannungsabfall 10 Volt.

Gesucht: Leitungsquerschnitt?

Lösung: Nach der Hilfstabelle auf Seite 143 beträgt für Installationsleitungen, Gleichstrom, 220 Volt, die Hilfszahl **2**. Der beim Aufsuchen des Leitungsquerschnittes zu berücksichtigende Spannungsabfall ist somit 10 : 2 = 5 Volt.
L · N = 55 · 2 = 110, mithin ist nach Tabelle auf Seite 145 für L · N = 110 und dem 5 Volt angenäherten (kleineren) Spannungsabfall von 3,6 Volt ein Leitungsquerschnitt von 2,5 qmm erforderlich.

Beispiel 5.

Gegeben: Eine Leitung 35 qmm, L = 240 m, Gleichstrom 440 Volt Spannungsverlust 3 %.

Gesucht: Leistung, die übertragen werden kann?

Lösung: Nach Tabelle auf Seite 142 überträgt bei Gleichstrom 440 Volt eine Leitung von 35 qmm Querschnitt höchstens 44 kW und hat dabei für je 100 m Länge 2,3 % Spannungsabfall. Auf 240 m Länge würde der Spannungsabfall 2,3 · 2,4 = 5,5 % betragen. Da er nur 3 % betragen soll, darf die Leitung nur mit 44 × 3 : 5,5 = 24 kW. belastet werden.

II. Verlegung von Leitungen.

Aufbau von Leitungen und Kabeln.

Aufbau, Gewicht und Widerstand blanker Kupferleitungen.

Querschnitt qmm	Anzahl und Durchmesser der einzelnen Drähte mm	Außen-Durchmesser des Gesamt-Drahtes ca. mm	Widerstand für 1000 m ca. Ohm	Gewicht für 1000 m ca. kg	Querschnit qmm	Anzahl und Durchmesser der einzelnen Drähte mm	Außen-Durchmesser des Gesamt-Drahtes ca. mm	Widerstand für 1000 m ca. Ohm	Gewicht für 1000 m ca. kg
1	1×1,13	1,13	17,80	8,9	**25**	7×2,1	6,3	0,715	224
1,5	1×1,38	1,38	11,88	13,4	**35**	7×2,5	7,5	0.510	317
2,5	1×1,78	1,78	7,12	22,3	**50**	19×1.8	9,0	0,356	453
4	1×2,26	2,26	4,45	35,6	**70**	19×2,1	10,5	0,255	615
6	1×2,75	2,75	2,96	53,8	**95**	19×2,5	12.5	0,188	860
10	1×3.55	3,55	1,78	89,0	**120**	19×2,8	14.0	0,149	1080
16	1×4,5	4,5	1,115	143	**150**	37×2,25	15,8	0.119	1370
16	7×1,7	5,1	1,115	148					

Gewichte von Flachkupfer

Querschnitt in qmm	Gewicht pro m ca. kg	Maße mm	Querschnitt in qmm	Gewicht pro m ca. kg	Maße mm	Querschnitt in qmm	Gewicht pro m ca. kg	Maße mm	Querschnitt in qmm	Gewicht pro m ca. kg	Maße mm
20	0,18	10×2	**100**	0,9	25×4	**200**	1,8	25×8	**400**	3.6	40×10
30	0,27	12×2,5	**104**	0,936	26×4			40×5			50×8
		10×3	**108**	0,972	18×6	**210**	1,89	30×7	**420**	3.78	35×12
36	0,324	12×3	**120**	1,08	20×6	**225**	2,02	45×5	**480**	4.32	40×12
39	0,351	13×3			15×8	**240**	2,16	30×8	**500**	4,5	25×20
45	0,405	15×3	**125**	1,125	25×5	**250**	2,25	25×10			50×10
60	0,54	15×4	**140**	1,26	20×7			50×5	**600**	5,4	50×12
		12×5	**150**	1,35	25×6	**280**	2,52	35×8			60×10
		10×6			30×5	**290**	2,61	58×5	**720**	6,48	60×12
65	0,585	13×5			50×3	**300**	2,7	30×10	**800**	7,2	80×10
75	0,675	15×5	**175**	1,575	25×7			20×15	**1000**	9,0	100×10
80	0,72	20×4			35×5	**320**	2.88	40×8	**1200**	10,8	100×12
90	0,81	18×5	**180**	1,62	30×6	**350**	3.15	35×10	**1500**	13,5	150×10
100	0,9	20×5	**182**	1,64	26×7	**360**	3,24	45×8			

Aufbau von eisenbandarmierten, asphaltierten Erdkabeln.

Querschnitt qmm	Bleimantel Wandstärke mind. mm	Bleimantel Durchmesser ca. mm	Gesamtdurchmesser ca. mm	Fabrikationslänge ca. m	Bleimantel Wandstärke mind. mm	Bleimantel Durchmesser ca. mm	Gesamtdurchmesser ca. mm	Fabrikationslänge ca. m	Bleimantel Wandstärke mind. mm	Bleimantel Durchmesser ca. mm	Gesamtdurchmesser ca. mm	Fabrikationslänge ca. m
Für Spannungen bis 750 Volt												
	K 1168 Einfachkabel Leiter rund **NPER 750**				Dreifachkabel K 1169 Leiter rund **NPDVR 750**				Dreifachkabel K 1170 Leiter sektorförmig **NSPDVR 750**			
1	1,1	6.8	**16,6***		1,2	11,1	**19,3**		Wird nicht ausgeführt			
1.5	1.1	7.1	**16.9***		1,2	11,7	**19,9**					
2,5	1,1	7.5	**17,3***		1,3	12,8	**23,0**					
4	1,2	8.2	**18,0***		1,3	13,9	**24,1**					
6	1,2	8,7	**16,9**		1.4	15,1	**25,3**					
10	1,2	9,5	**17,7**		1,4	16,9	**27,1**	500	1,4	15.0	**25,2**	
16	1,2	10.9	**19,1**		1,4	18,8	**29,0**		1,4	17,9	**28,1**	
25	1.2	12,8	**23,0**		1.7	23,5	**35,5**		1,5	20,5	**30,7**	
35	1.3	14,2	**24,4**		1,7	26.1	**38.1**		1,6	22,9	**34,9**	
50	1.3	15,7	**25,9**	500	1,9	29,9	**42,9**		1,7	25,8	**37,8**	500
70	1,4	17,7	**27,9**		2.0	33,8	**46,8**		1,8	29,1	**41.1**	
95	1,4	19,5	**29.7**		2.1	37,9	**50,9**	450	1,9	32,6	**45,6**	
120	1.5	21,2	**33,2**		2,2	41,3	**54,3**	450	2,0	35,5	**48,5**	
150	1,6	23,6	**35,6**		2.3	45,2	**58.2**	400	2,1	38,8	**51,8**	450
185	1,7	25,6	**37,6**		2,6	50,3	**63,3**	350	2.3	45,4	**58,4**	400
240	1.8	28,7	**40,7**		2,7	55,7	**68,7**	260	2,6	51,1	**64,1**	300
300	1.9	31,3	**44,3**		2,9	62,2	**75,2**	260	2,7	57,0	**70,0**	260
400	2,0	35,0	**48,0**		3,1	70,1	**83,1**	250	Wird nicht ausgeführt			
Für Spannungen über 750 Volt												
	6000 Volt Dreifachkabel, Leiter rund **NPDVR 6 000**				**10 000 Volt** Dreifachkabel, Leiter rund **NPDVR 10 000**				**15 000 Volt** Dreifachkabel, Leiter rund **NPDVR 15 000**			
10	1,7	25,6	**37,1**		2,0	33,8	**46,8**	500	Wird nicht ausgeführt			
16	1,8	27,8	**39.8**		2,0	35.8	**48,8**	500				
25	1,9	32,1	**45,1**	500	2.1	38,5	**51,5**	450	2,4	47,0	**60,0**	350
35	2,0	33,8	**47,8**		2.2	39,9	**52,9**	450	2.4	48.2	**61,2**	350
50	2,1	37,3	**50,3**		2.3	43,5	**56,5**	400	2,6	51,8	**64,8**	300
70	2,2	41,1	**54,1**	450	2,4	47,2	**60,2**	350	2,7	55,7	**68,7**	260

* Wird nur mit Eisendrahtarmierung ausgeführt **NPEF 750.**

Ungefährer äußerer Durchmesser in mm isolierter u. umhüllter Leitungen.

Querschnitt	Für feste Verlegung		Zum Anschluß ortsveränderlicher Stromverbraucher								
			Gummischlauchleitung			Hanfkordelleitungen					
	Gummiaderleitungen	Nullleiterdrähte	leicht	mittel	stark	leicht**		mittel**		stark †	
			2 Leiter*			2 Leiter	3 Leiter	2 Leiter	3 Leiter	2 Leiter	3 Leiter
qmm	NGA	NL	NLH	NMH	NSH	NHK		NWK		NSGCK	
0,75	—	—	6	8	—	—	—	—	—	—	—
1	4,3	2,2	—	8,5	—	12	12,6	12,3	12,9	17,4	18
1,5	4,5	2,5	—	9,5	14	12,6	13,3	12,9	13,7	18	18,7
2,5	5,4	2,9	—	12	17	14,4	15,2	14,8	15,6	20,2	21
4	5,9	3,4	—	—	17,5	15	15,8	15,4	16,2	20,8	21,6
6	6,4	3,9	—	—	19,5	17,2	18,2	17,6	18,9	23	24
10	7,9	4,8	—	—	23	—	—	20,3	21,5	25,8	27
16	8,9	5,7	—	—	27	—	—	23,3	25,4	28,8	30,2
25	11,6	7,6	—	—	—	—	—	28,2	30	—	—
35	13,1	9,2	—	—	—	—	—	31,2	33,2	—	—
50	15	10,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—
70	16,6	13,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
95	18,8	14,8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
120	20,4	16,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
150	22,6	18,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—

* Für Dreifachleitungen sind die Werte ca. 0,5 bis 1 mm größer.
** Die Angaben gelten für Leitungen ohne und mit Erdungsleiter.
† Diese Leitungen werden nur mit Erdungsbeflechtung geliefert.

Mindestabstände von Leitungen.

(Nach den Errichtungsvorschriften des VDE.)

Art der Leitung		Mindestabstand von einander	Mindestabstand von Gebäudeteilen	Mindestabstand von der Erde
Blanke Niederspannungsleitungen	bei Spannweiten über 6 m	20 cm	5 cm	2,5 m
	bei Spannweiten von 4—6 m	15 cm		
	bei Spannweiten von 2—4 m	10 cm		
	bei Spannweiten unter 2 m	5 cm		
Blanke Hochspannungsleitungen	bei Spannungen bis 750 Volt	4 cm	4 cm	6 m, bei Wegübergängen 7 m
	bei Spannungen bis 3000 Volt	10 cm	10 cm	
	bei Spannungen bis 6000 Volt	10 cm	10 cm	
	bei Spannungen bis 10000 Volt	12,5 cm	12,5 cm	
	bei Spannungen bis 25000 Volt	18 cm	18 cm	
	bei Spannungen bis 35000 Volt	24 cm	24 cm	
	bei Führung an der Außenseite eines Gebäudes	Wie vor	Wie vor, jedoch mind. 10 cm	
Isolierte offen verlegte Leitungen	für Niederspannung im Freien		2 cm	
	für Niederspannung in Gebäuden		1 cm	
	für Hochspannung unter 1000 Volt		2 cm	

Lichte Weite von Isolierrohren für gegebene Leitungsquerschnitte.

Zahl und Art** der Leitung	Querschnitt in qmm														
	1	1,5	2,5	4	6	10	16	25	35	50	70	95	120	150	185
Auf Putz															
1 NGA	11	11	11	11	*13,5	13,5	*16	16	21	*23	23	29	29	36	36
2 NGA	*13,5	13,5	*16	16	*21	*23	23	29	36	—	—	—	—	—	—
3 NGA	*13,5	*16	16	*21	21	23	29	36	36	—	—	—	—	—	—
1 NL	—	—	—	—	11	11	13,5	*16	*21	21	*23	23	*29	29	—
1 NGA + 1 NL	*11	*13,5	13,5	*16	*16	21	*23	—	—	—	—	—	—	—	—
2 NGA + 1 NL	*13,5	*16	16	*21	21	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 NGA + 1 NL	13,5	16	21	21	23	29	36	36	—	—	—	—	—	—	—
Unter Putz															
1 NGA	13,5	13,5	13,5	13,5	13,5	16	*21	21	23	23	29	*36	36	—	—
2 NGA	13,5	*16	16	21	21	*29	29	—	—	—	—	—	—	—	—
3 NGA	13,5	16	*21	21	23	*29	29	36	36	—	—	—	—	—	—
1 NL	—	—	—	—	13,5	*16	16	*21	21	*23	23	*29	29	—	—
1 NGA + 1 NL	13,5	13,5	13,5	16	21	23	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2 NGA + 1 NL	13,5	16	16	21	*23	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3 NGA + 1 NL	16	16	21	23	29	29	36	—	—	—	—	—	—	—	—

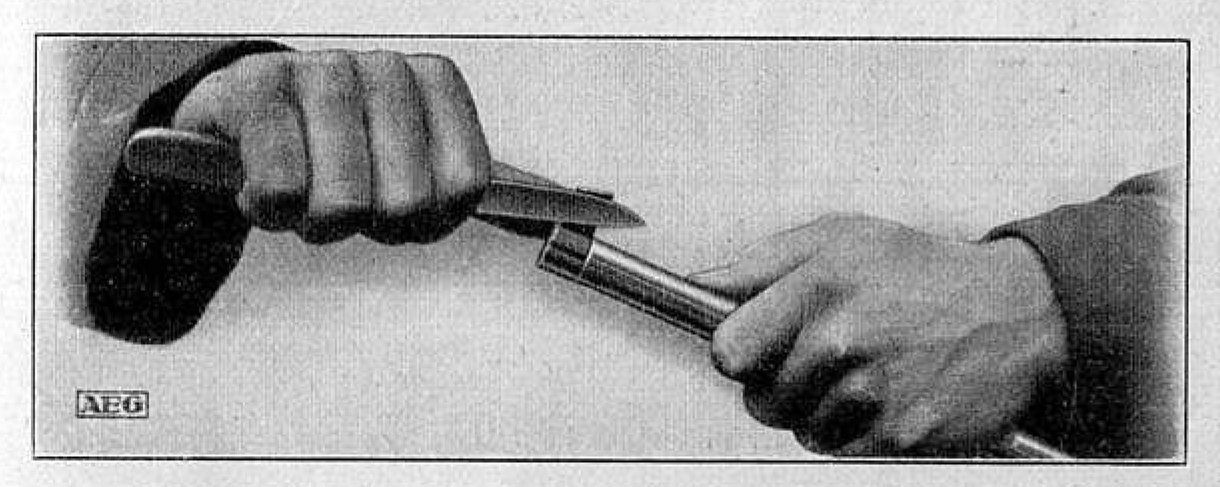
* Bei den mit vorstehendem Zeichen versehenen Rohrweiten kann für kürzere Strecken (Schalterherunterführungen) der nächst kleinere Durchmesser verwendet werden.
** siehe Seite 22.

Aeußerer Durchmesser von Isolierrohren.

Lichte Weite mm	Gummirohr		Mit Messing- od. verbleitem Eisenmantel		Stahlpanzerrohr	
	Wandstärke ca. mm	Aeußerer Durchmesser ca. mm	Wandstärke ca. mm	Aeußerer Durchmesser ca. mm	Wandstärke ca. mm	Aeußerer Durchmesser ca. mm
7	1,5	10	2,0	11,0	2,7	12,5
9	1,5	12	2,0	13,0	3,2	15,2
11	1,5	14	2,4	15,8	3,8	18,6
13,5	1,5	16,5	2,6	18,7	3,4	20,4
16	2,0	20	2,6	21,2	3,2	22,5
21	2,0	25	2,7	25,8	3,6	28,3
23	2,0	27	2,7	28,5	—	—
29	2,5	34	2,7	34,5	4,0	37,0
36	2,5	41	3,2	42,5	5,5	47,0

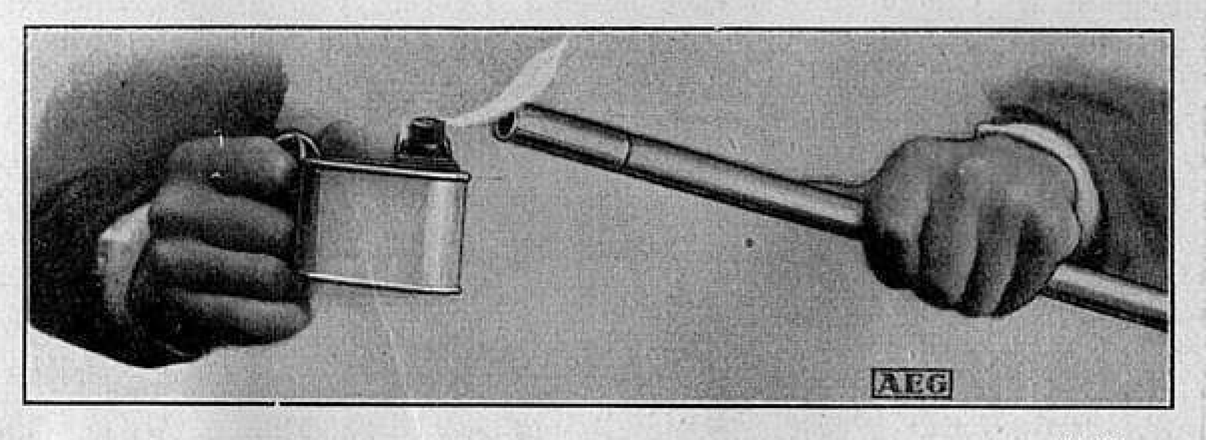
Verlegung von Isolierrohr auf dem Putz.

Isolierrohr mit Messingmantel oder verbleitem Eisenmantel wird in Stangen von 3 m geliefert. Die Verbindung zweier Rohre geschieht durch aufgeschobene Metallmuffen ohne Isolierauskleidung, wobei darauf zu achten ist, daß zwischen den beiden Rohrenden keine Lücke bleibt. Jedes Rohr ist am Ende „abzumanteln“, d. h. der Metallmantel ist etwa 1 cm lang zu entfernen. Hierzu wird er ringsherum mit dem Montagemesser eingeschnitten und nach Lösen des Falzes abgehoben (Abb. 1). Das Aufschieben der Muffen geschieht nach leichtem Anwärmen derselben mit der Spirituslampe. Diese hat sich gegenüber der teureren und empfindlichen Benzinlampe für alle die Zwecke bewährt, in denen es sich nicht um das Löten von Metallteilen handelt (Abb. 2). Die Rohre lassen sich mit Hilfe einer Biegezange so biegen, daß sie sich der Form des Mauerwerkes genügend anpassen (Abb. 3). Die Verwendung fertiger Ellbogen ist nur da am Platze, wo sich der gleiche Bogen in größerer Anzahl wiederholt. Sonst ist es sparsamer, die Rohre auf dem Bau zu biegen, da man so weniger Stoßstellen im Rohr bekommt und die ganzen Rohrlängen ohne Abfall verarbeiten kann. Für jede Rohrweite ist eine besondere Biegezange zu nehmen. Nicht passende Zangen ergeben unbrauchbare Bogen und Rohrverletzungen (Abb. 4). Das Abschneiden des Rohres geschieht einfach durch einen ringsumlaufenden Schnitt mit dem Montagemesser (Abb. 5).



K 1171

Abb. 1. Abmanteln des Rohrendes.



K 1172

Abb. 2. Anwärmen der Muffe mit der Spirituslampe vor dem Aufschieben auf das Rohr.

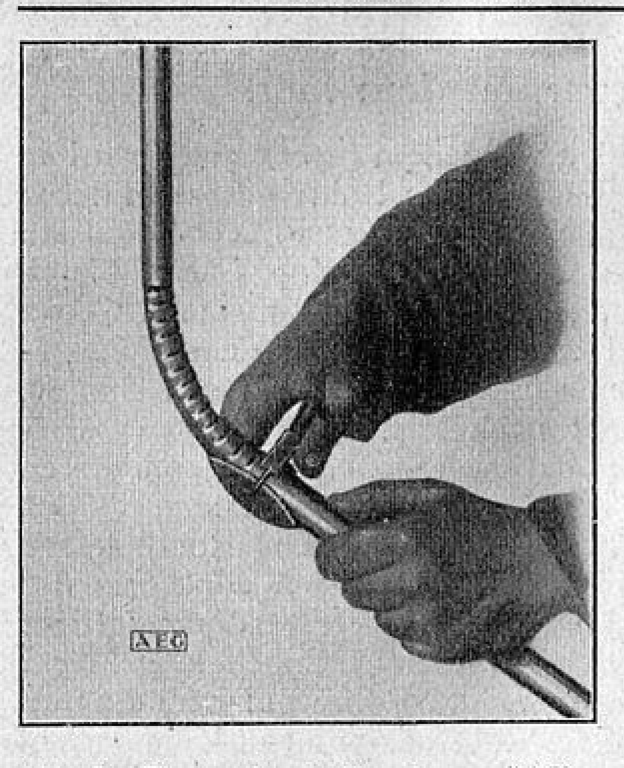


Abb. 3. Biegen des Isolierrohres. K 1173



Abb. 5. Abschneiden des Isolierrohres. K 1174

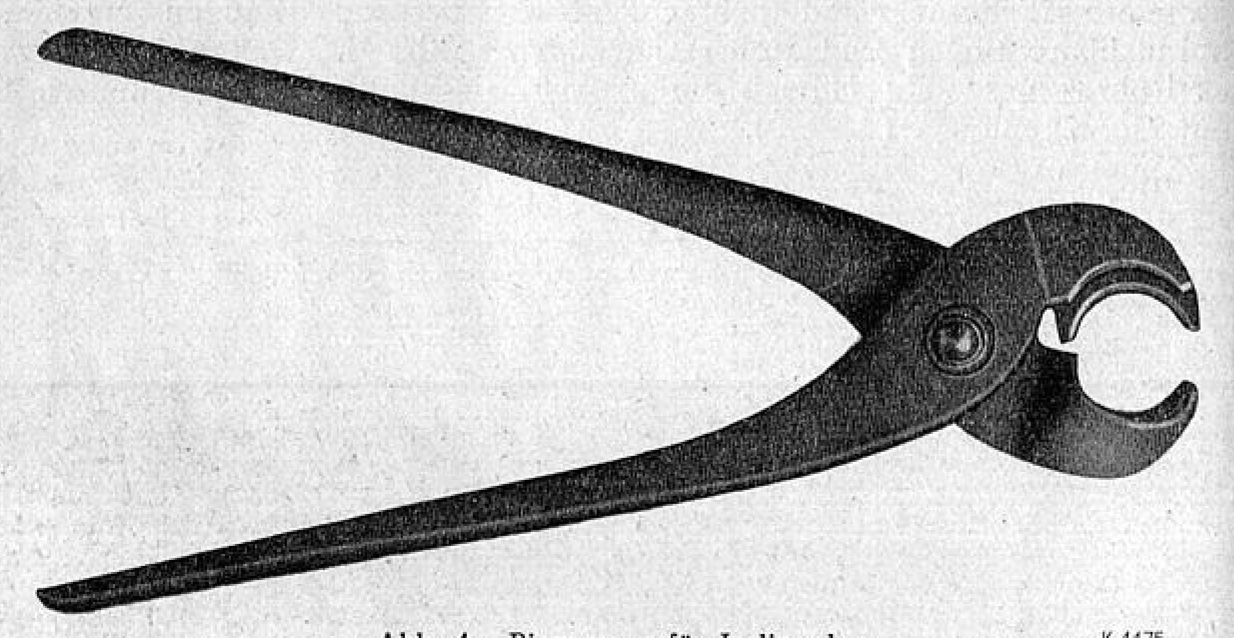


Abb. 4. Biegezange für Isolierrohre. K 1175

Wo das Biegen von Rohren kein genügendes Anpassen an das Mauerwerk gestattet, greift man zu Winkelstücken (Abb. 12). Diese sollen das Einziehen und Ausziehen des Drahtes ermöglichen und sind daher teilbar. T-Stücke gleicher Art sollen nur da verwendet werden, wo der Weg zweier Leitungen sich teilt, ohne daß ein Abzweig des Drahtes notwendig ist; denn Lötstellen in T-Stücken zu machen, ist verboten. Bei Leitungsabzweigen verwende man ausschließlich Abzweigdosen und Abzweigklemmen. Die gewöhnlichen Dosen zur Verlegung auf dem Putz haben vier, die größeren acht in der Isolierauskleidung ausgesparte Löcher. Der Metallmantel ist jedoch geschlossen, und lediglich eine eingeprägte Wulst läßt die Lage der Löcher erkennen. Bei der Montage werden dann nur die gerade notwendigen Löcher geöffnet, indem man entweder mit einigen Feilstrichen den Wulst durchfeilt oder das kreisrunde Metallstück mit dem Messer ausschneidet (Abb. 6). Kleiner und daher besser im Aussehen sind dagegen

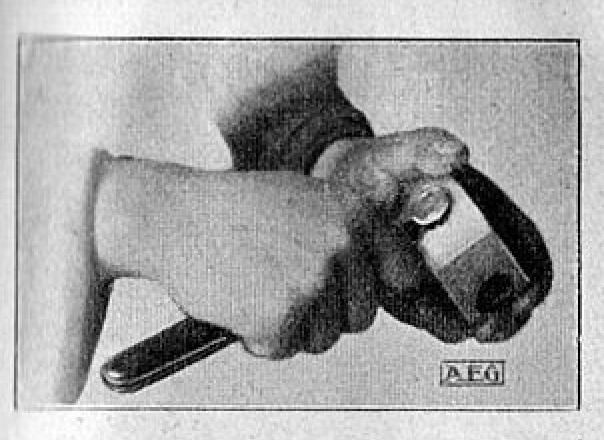


Abb. 6. Die im Blechmantel markierten Anschlußlöcher werden mit dem Messer ausgeschnitten. K 1176



Abb. 8. K 1178
Auf das angewärmte Rohrende wird eine gebogene Endtülle aufgesetzt.

Dosen mit eingepreßten oder eingelegten Klemmen. Zum Oeffnen der vorgesehenen Rohranschlüsse genügt hier das Durchstoßen der dünnen Zwischenwand mit einem Schraubenzieher oder dergleichen (Abb. 7). Endigen die Rohre weder in Abzweigdosen oder dergleichen noch in Apparaten, Schaltern usw., so werden zum Schutz der Draht isolation Endtüllen aufgesteckt. Liegt das Rohrende auf der Wand, so sind die geraden Endtüllen zu verwenden, die z. B. bei Herunterführungen zu Schaltern benutzt werden, wenn die Drähte im übrigen offen verlegt sind. Endigt die Rohrleitung auf der Decke, z. B. an Beleuchtungskörpern, so empfiehlt sich die Anwendung gebogener Endtüllen (Abb. 8).

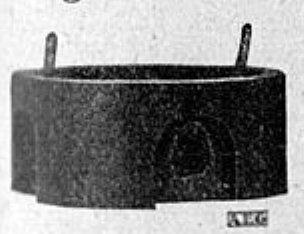
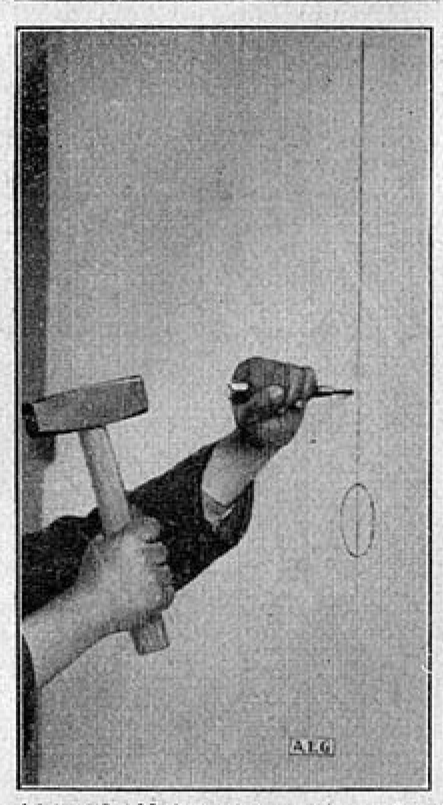


Abb. 7. K 1177
Kleine Tenacitdose, bei der der Rohranschluß durch Durchstoßen einer dünnen Wand geöffnet wird.

Abb. 9. Ein mit Kreide oder Kohle bestrichener Bindfaden wird gespannt und gezupft. (Vorzeichnen durch Schnurschlag.) K 1179



K 1180

Abb. 10. Neben der vorgezeichneten Schalterleitung werden die Stahldübel mit Setzeisen eingetrieben.



Abb. 11. K 1181

Neben einer bereits verlegten Rohrleitung kann man die Stahldübel ohne weiteres Vorzeichnen eintreiben.

Zur Verlegung von Isolierrohr auf dem Putz muß der Verlauf desselben vorgezeichnet werden, damit die Befestigungsstellen festliegen. Als Befestigung werden stets Schellen verwendet, die meist durch Stahl-

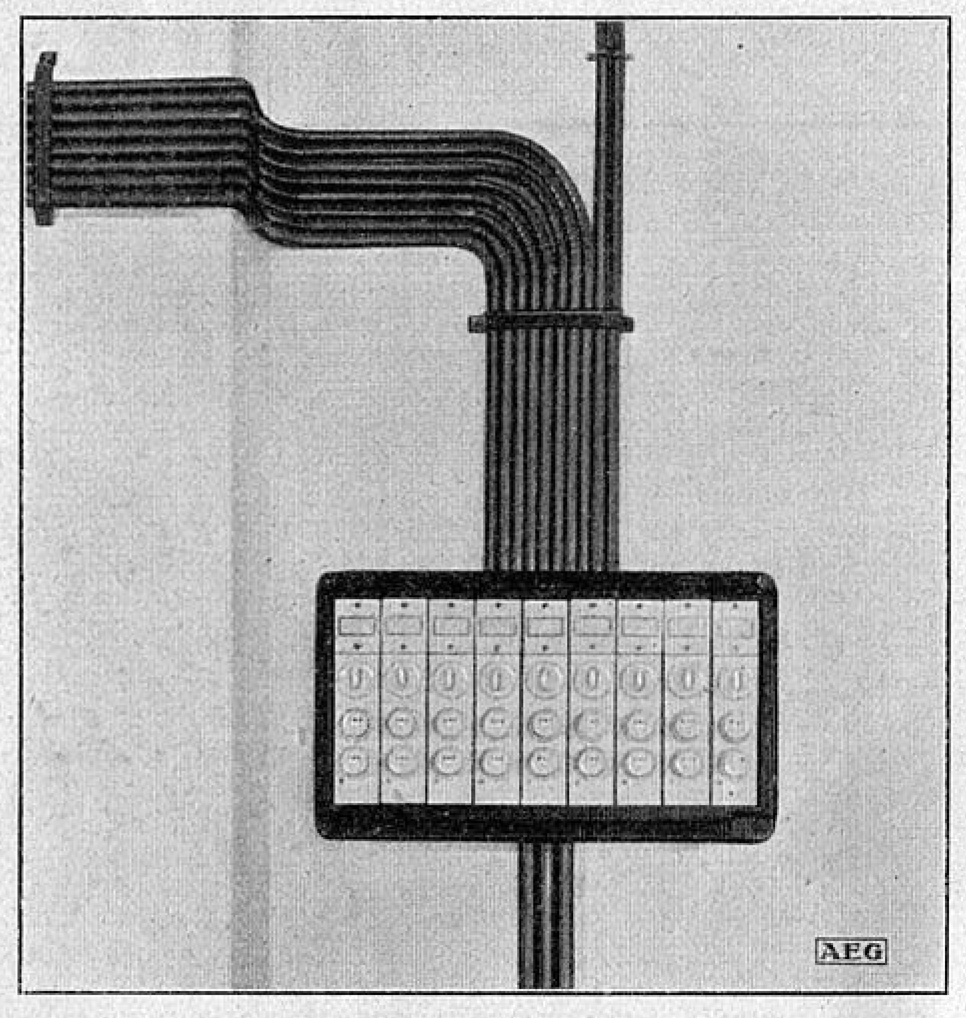


Abb. 12. Fertige Rohrverlegung an einer Lichtverteilung. (Der vorspringende Pfeiler zwingt zur Anwendung von Winkelstücken.) K 1182

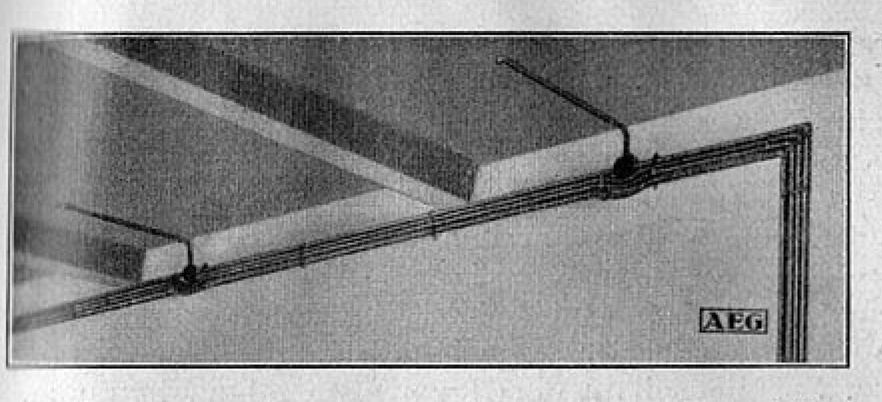


Abb. 16. Falsche Verlegung der Rohre an der Dose. K 1183
(Die unteren drei Rohre bilden einen „Wassersack".)

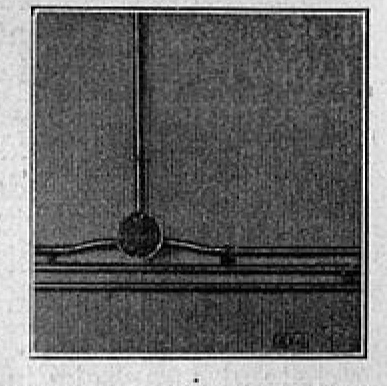
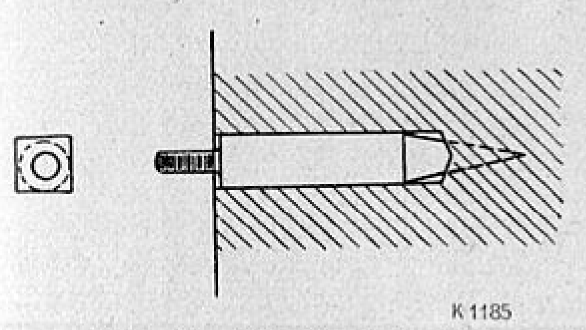


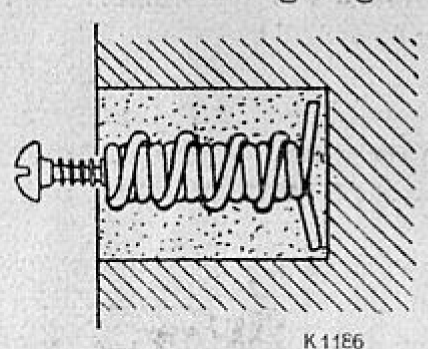
Abb. 17. Richtige Verlegung an der Dose. K 1184

dübel gehalten werden. Mit einem Bindfaden, der durch Kreide oder Kohle gezogen ist, wird ein „Schnurschlag" auf der Wand gemacht, so daß sich ein gerader Strich abzeichnet (Abb. 9). In angemessenem Abstand neben diesem werden die Stahldübel mit einem Setzeisen in die Wand getrieben (Abb. 10). Bei Eisenbeton-Mauerwerk muß in der Regel das Loch für den Stahldübel mittels Rohrbohrer vorgebohrt werden. In dem harten Material genügt zur



K 1185

Abb. 13. Bei Eisenbeton-Mauerwerk werden die Stahldübel in ein rundes, vorgebohrtes Loch eingetrieben.



K 1186

Abb. 14. In Hohlziegel-Mauerwerk und dergl. müssen Spiraldübel eingegipst werden.

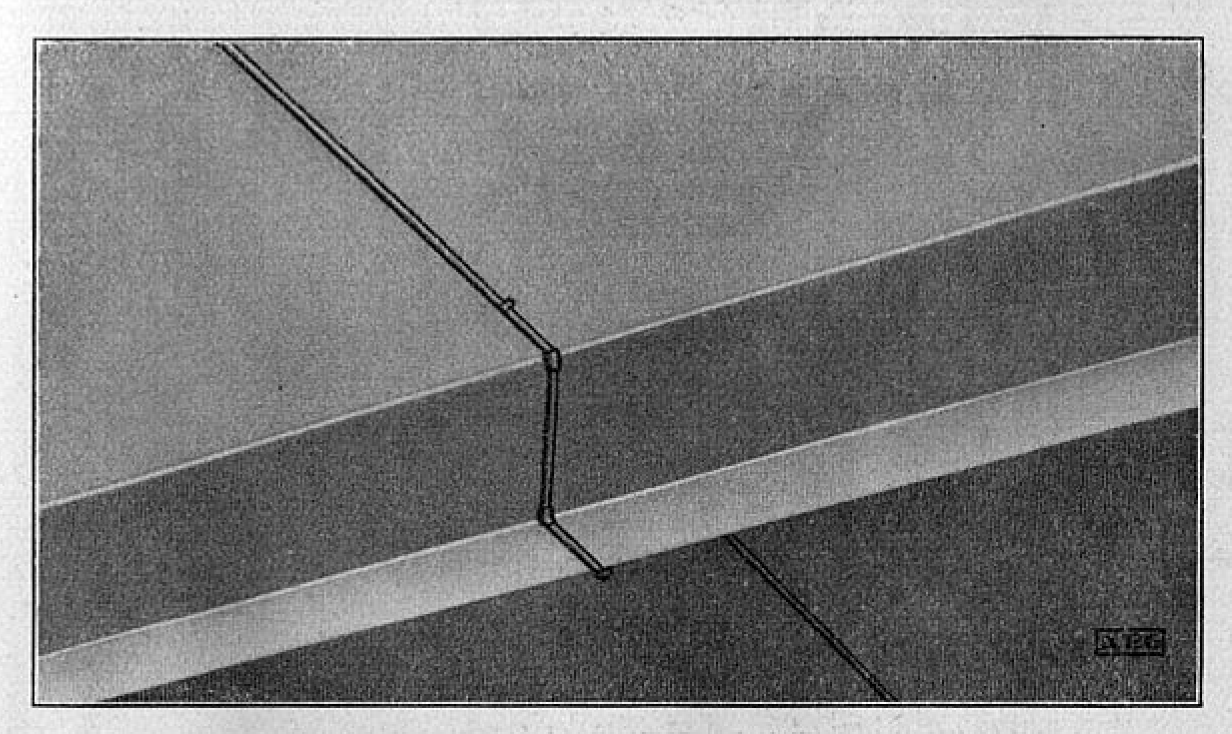


Abb. 15. Bei der Umführung von Balken lassen sich U-förmige Bogen nicht vermeiden. Hier sind aber Winkelstücke zum Oeffnen anzuordnen. K 1187

Befestigung das Eintreiben des viereckigen Dübels in das runde Loch (Abb. 13). Muß die Befestigung in Mauerwerk erfolgen, das zum Eintreiben von Stahldübeln nicht genügend fest ist, wie Hohlziegelwände oder -decken, Rohrdecken und dergl., so müssen mit Gips eingesetzte Spiraldübel verwendet werden. Mit Rohrbohrern lassen sich leicht die kreisrunden Löcher herstellen, in die sich die Dübel (nach Anfeuchten des Mauerwerks) mittels Gips sauber einsetzen lassen (Abb. 14). Verlaufen mehrere Rohre nebeneinander, so kann die Befestigung durch gemeinsame Schellen geschehen, so daß je nur zwei Dübel notwendig werden. Der Abstand von Schelle zu Schelle soll in der Regel etwa 80 cm betragen. Hierbei ist zu beachten, daß etwa 10 cm von jedem Winkel- oder T-Stück, von jeder Abzweigdose und jedem Rohrende eine Schelle sitzen muß. Der allgemeine Verlauf der Rohre soll so sein, daß sich nirgends Wasser ansammeln kann; „Wassersäcke“ sind also zu vermeiden. Wenn z. B. bei der Umgehung von Unterzügen die Form eines nach unten gerichteten Bogens notwendig ist (Abb. 15), so sind hier teilbare Winkelstücke zu verwenden, welche bei Ansammlung von Wasser geöffnet werden können. Dagegen sollen derartige Bogen auf der Wand (Abb. 16) keinesfalls vorkommen. Die richtige Verlegung der Rohre an solchen Punkten zeigt Abb. 17.

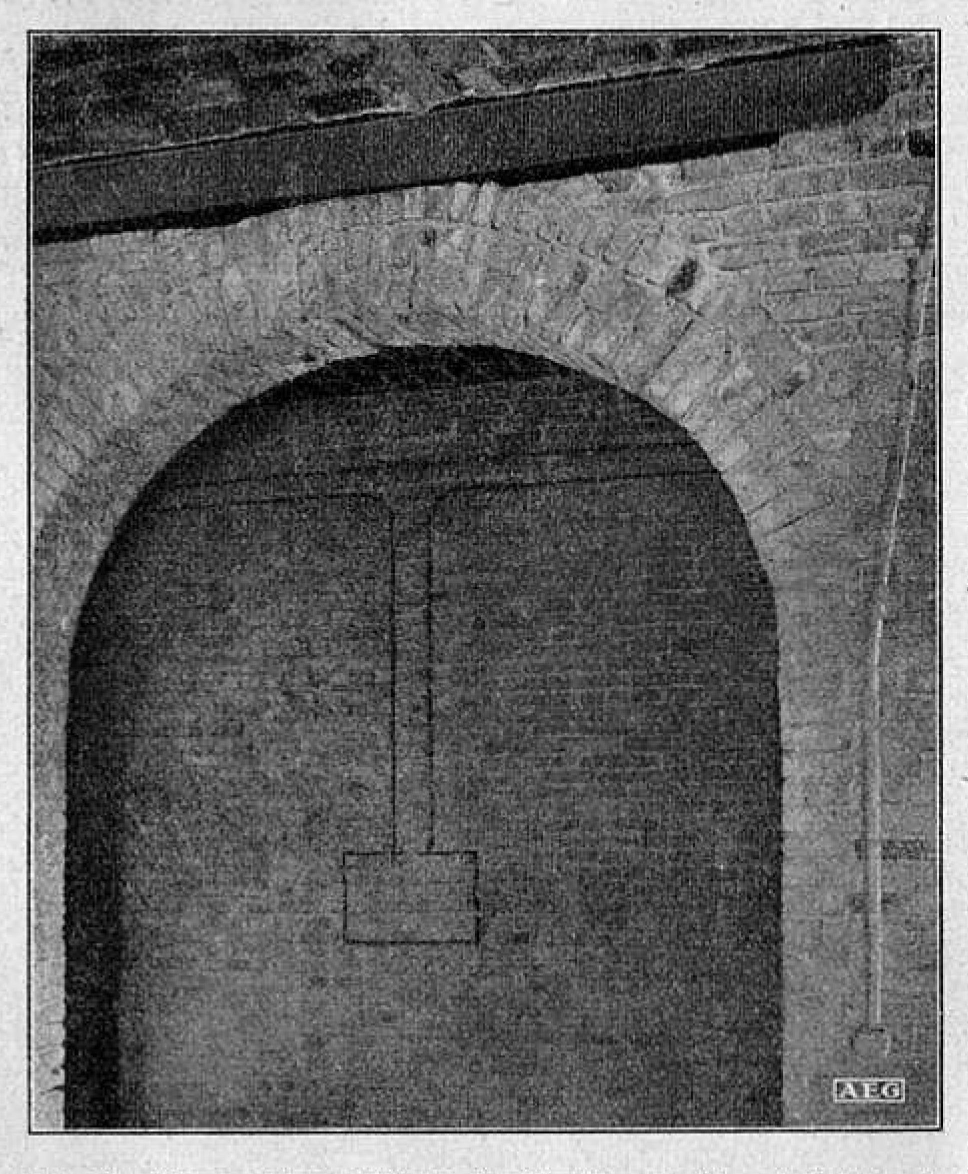
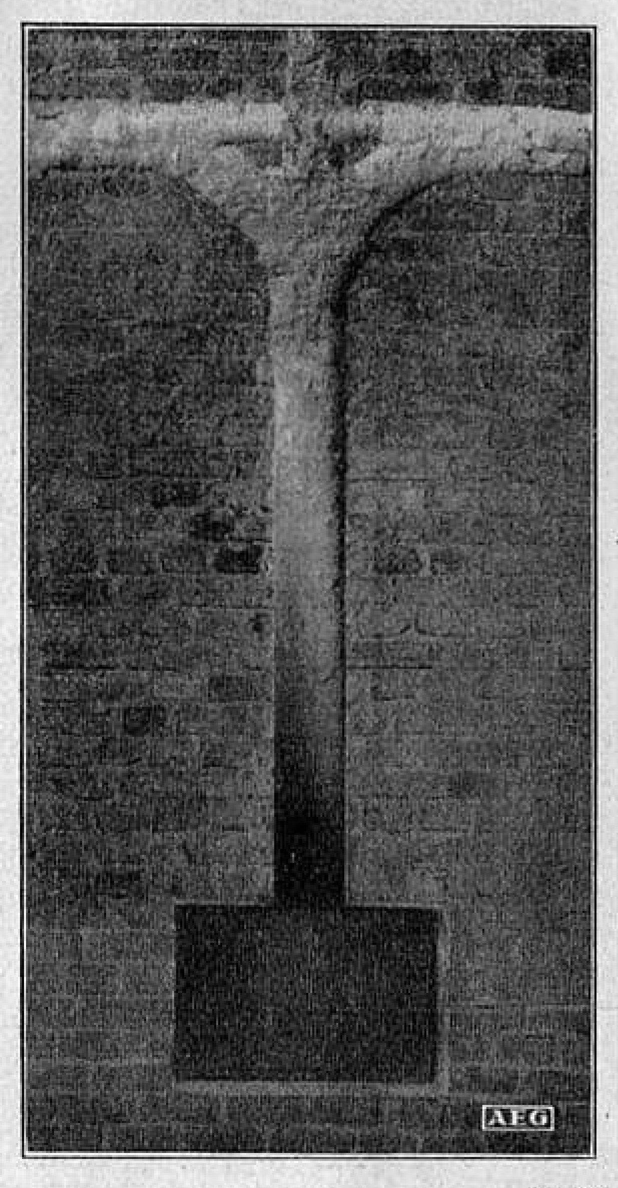


Abb. 18. Vorgezeichnete Nische für Verteilungstafel und Rohrkanal. Rechts ein ausgestemmter Kanal für eine Schalterleitung. K 1188

Verlegung von Isolierrohr unter dem Putz.

Das Verlegen von Rohr unter dem Putz erfolgt in der Regel sofort nach Fertigstellung des Rohbaues, also vor dem Beginn des Putzens. Die Rohre sollen nicht „im“ Putz, sondern „unter“ dem Putz liegen, d. h. sie sollen mit der rohen Mauerwerkswand bündig liegen; anderenfalls werden sie beim Putzen leicht beschädigt, auch ist die Stärke des Putzes oft ungleichmäßig und nicht immer so reichlich, daß die dünne Putzschicht über den Rohren nicht abfallen würde. Hieraus ergibt sich, daß zur Einbettung der Rohre Kanäle aus dem Mauerwerk ausgestemmt werden müssen. Zu diesem Zweck muß der Verlauf der Rohre vorgezeichnet werden. Hier kann man sich mit Rücksicht auf die unregelmäßige Oberfläche der Wände nicht des Abschnürens bedienen. Es kommt auch auf vollkommene Geradlinigkeit der Striche nicht an, da bei wagerechten Kanälen die Mauerfugen die Richtung geben und der genaue Verlauf der Rohre ohne Bedeutung ist. Man zeichnet daher die Kanäle mit

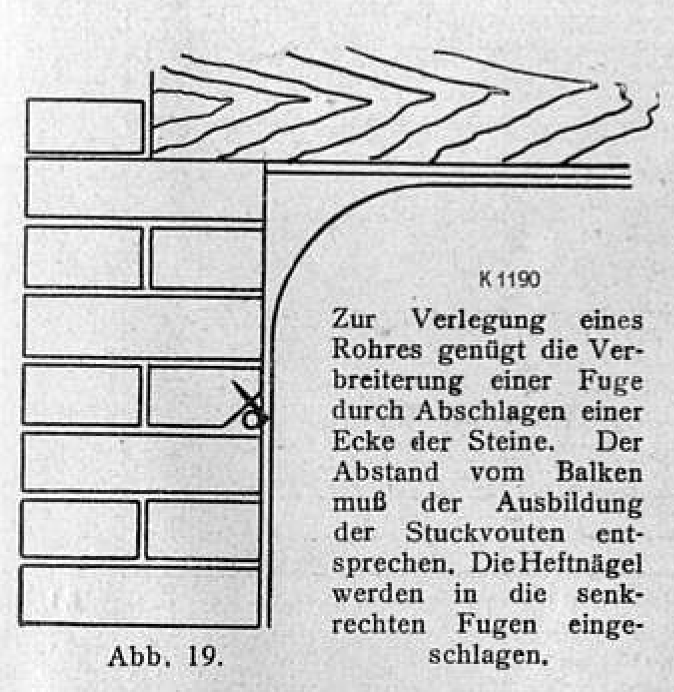


K 1189

Abb. 20. Die in Abb. 18 dargestellte Verteilung nach dem Ausstemmen.

Kohle vor. Kanäle für ein Rohr werden durch einen Strich markiert, breitere Kanäle durch zwei Striche in entsprechendem Abstand (Abb. 18). Beim Vorzeichnen beachte man, daß Tragepfeiler, schwache Wände u. dgl. nur mit Genehmigung der Bauleitung angestemmt werden dürfen.

Wagerechte Kanäle für ein Rohr lassen sich am leichtesten unter Benutzung einer Mauerfuge dadurch herstellen, daß die Ecke eines Steines abgeschlagen wird (Abb. 19). Für das Einlassen von Abzweigdosen, Schaltern, Verteilungszentralen usw. sind entsprechende Aussparungen mit aus-



K 1190

Abb. 19. Zur Verlegung eines Rohres genügt die Verbreiterung einer Fuge durch Abschlagen einer Ecke der Steine. Der Abstand vom Balken muß der Ausbildung der Stuckvouten entsprechen. Die Heftnägel werden in die senkrechten Fugen eingeschlagen.

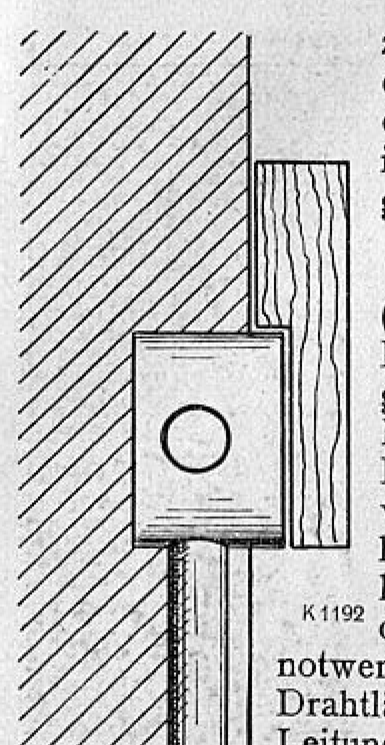


Abb. 22. Zum genauen Einsetzen der Dosen wird eine Holzschablone benutzt, die der Stärke des Putzes entspricht.

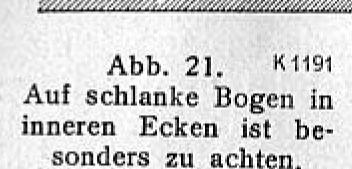


Abb. 21. Auf schlanke Bogen in inneren Ecken ist besonders zu achten.

zustemmen. Es ist darauf zu achten, daß das Rohr stets in schlankem Bogen geführt werden kann.

Vor allem bei inneren Ecken (Abb. 21) muß das Rohr so tief eingelassen werden, daß es auch in der Mitte des Bogens gut bedeckt wird. Da bei Verlegung unter Putz das Auswechseln von Drähten stets mit Sicherheit möglich sein muß, macht sich bei langen Strecken unter Umständen auch die Anordnung von Durchgangsdosen notwendig, die nur dem Zweck dienen, nicht gar zu große Drahtlängen einziehen zu müssen. Verzweigungen von Leitungswegen müssen hier stets durch Dosen hergestellt werden. Die Anordnung der Dosen muß wohl überlegt werden. Zunächst ist darauf zu achten, daß sie nicht durch später anzubringende Stuckvouten verdeckt werden. Sie dürfen also nicht hart an der Decke sitzen, sondern man wählt in der Regel die sechste Schicht unter dem Balken. Dann ist darauf zu achten, daß sie in einem Raum alle in gleicher Höhe sitzen, da man nach dem Butzen nur noch die Dosendeckel, nicht aber die Rohre sieht. Damit die Dosen

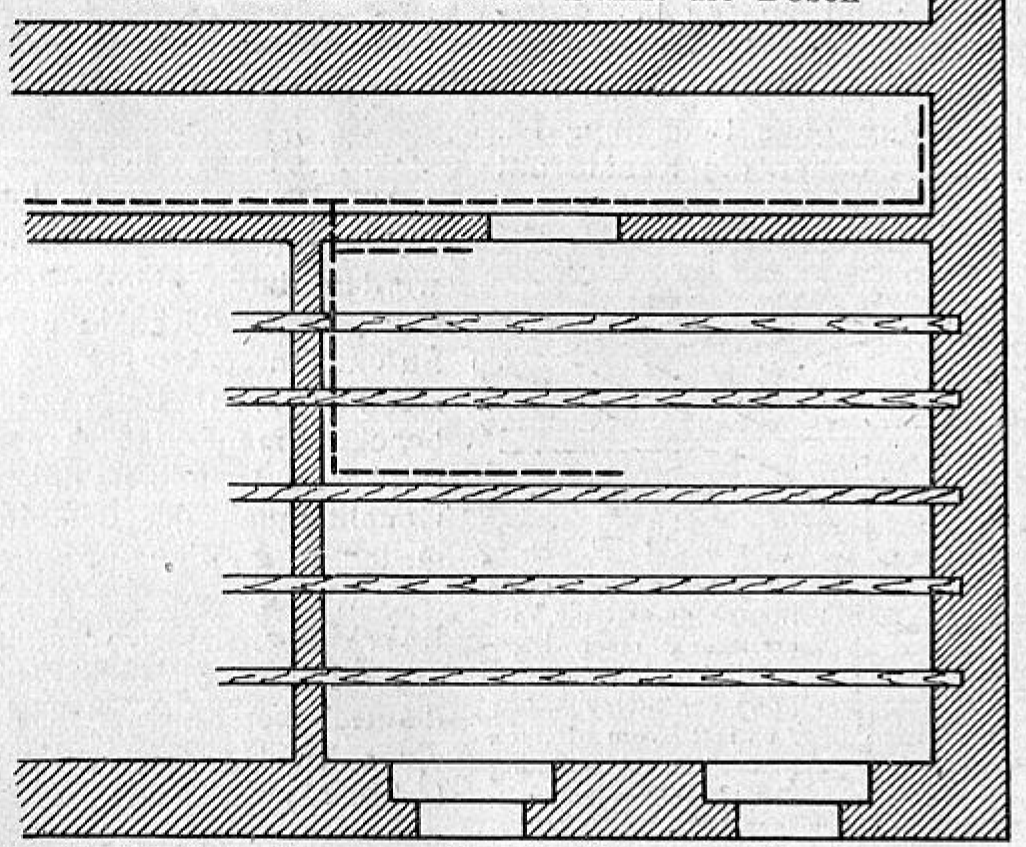
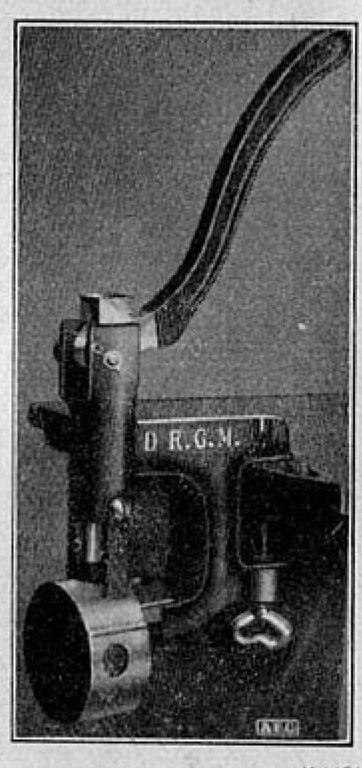


Abb. 23. Die Deckenübergänge sollen den Balken parallel laufen, damit die Rohre an den Seiten der Balken befestigt werden können. (Die punktierte Linie zeigt den Verlauf der Leitungsrohre.)

nach dem Putzen mit der Wandfläche bündig sitzen, empfiehlt sich die Verwendung einer Holzschablone (Abb. 22), welche der Stärke des Putzes entspricht und für ebene Lage der Dose sorgt. Ferner ist auf den Abstand der Schalter von den Türöffnungen zu achten. Da die Türfutter (Türbekleidung) noch nicht vorhanden sind, soll man möglichst deren Breite kennen. In der Regel genügt ein Abstand des Schalters von 25 cm von der Mauerkante. Hieraus ergibt sich auch, daß man die Drehrichtung der Türen kennen muß, damit die Schalter nicht hinter den Türen, sondern an derjenigen Seite sitzen, an der sich die Türschlösser befinden. Die Schalterhöhe muß ebenfalls vom Balken aus gemessen werden, da auch der Fußboden nicht fertig ist. Hierfür nimmt man meist 1,25 m. Handelt es sich um die Anbringung von Paneelen, Wandbekleidungen mit Kacheln, Mettlacher Platten u. dgl., so bedarf es genauer Angaben über deren Höhe und Ausführung, da die Schalter nicht gerade an der Kante oder im Gesims des Paneels sitzen können, auch häufig in wagerechter Richtung eine ganz bestimmte Stelle in der Zeichnung der Bekleidung einnehmen müssen (Abb. 18).



K 1194
Abb. 24. Lochen der Dose mit Metallmantel an der Arbeitsstelle.

Die Verlegung von Isolierrohr mit Metallmantel geschieht nach dem Ausstemmen der Kanäle ebenso wie auf dem Putz. Lediglich die Befestigung braucht nicht mit Schellen zu erfolgen. Es genügt, wenn die Rohre mit Drahtstiften geheftet werden, die schräg in die Fugen wechselweise nach oben und unten eingeschlagen werden. Nach der Verlegung der Rohre empfiehlt es sich, sie dadurch vollkommen festzulegen, daß sie entweder in Abständen von 1—2 m oder auch im ganzen Verlauf mit Gips bis zur Ebene

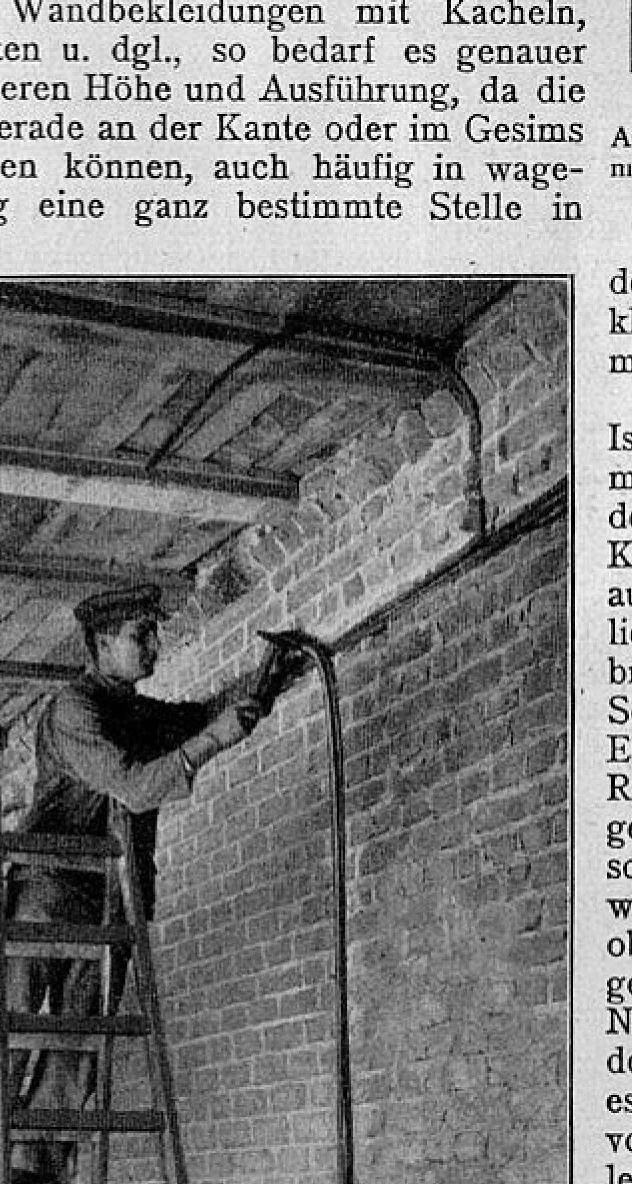


Abb. 25. K 1195
Verlegung des Gummirohrs. Heften mittels Drahtstifte.

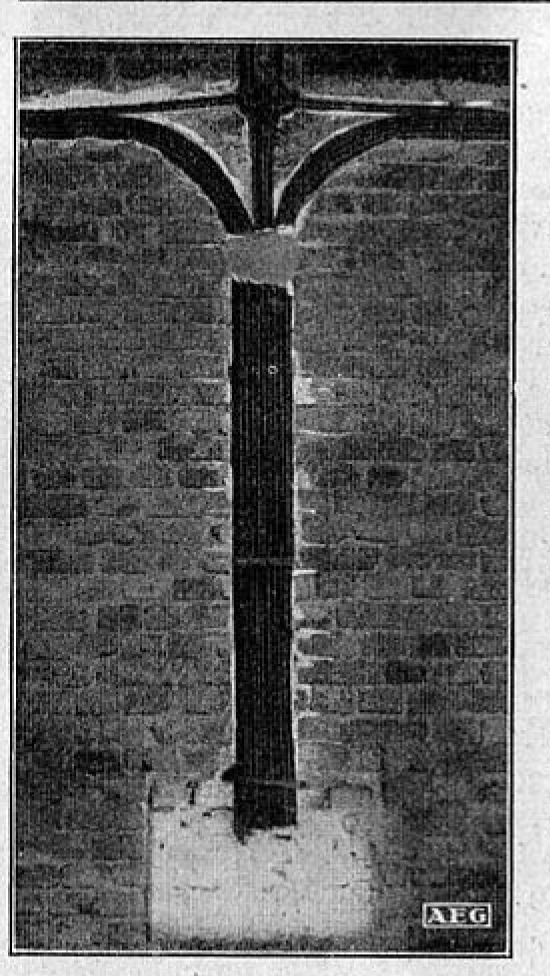


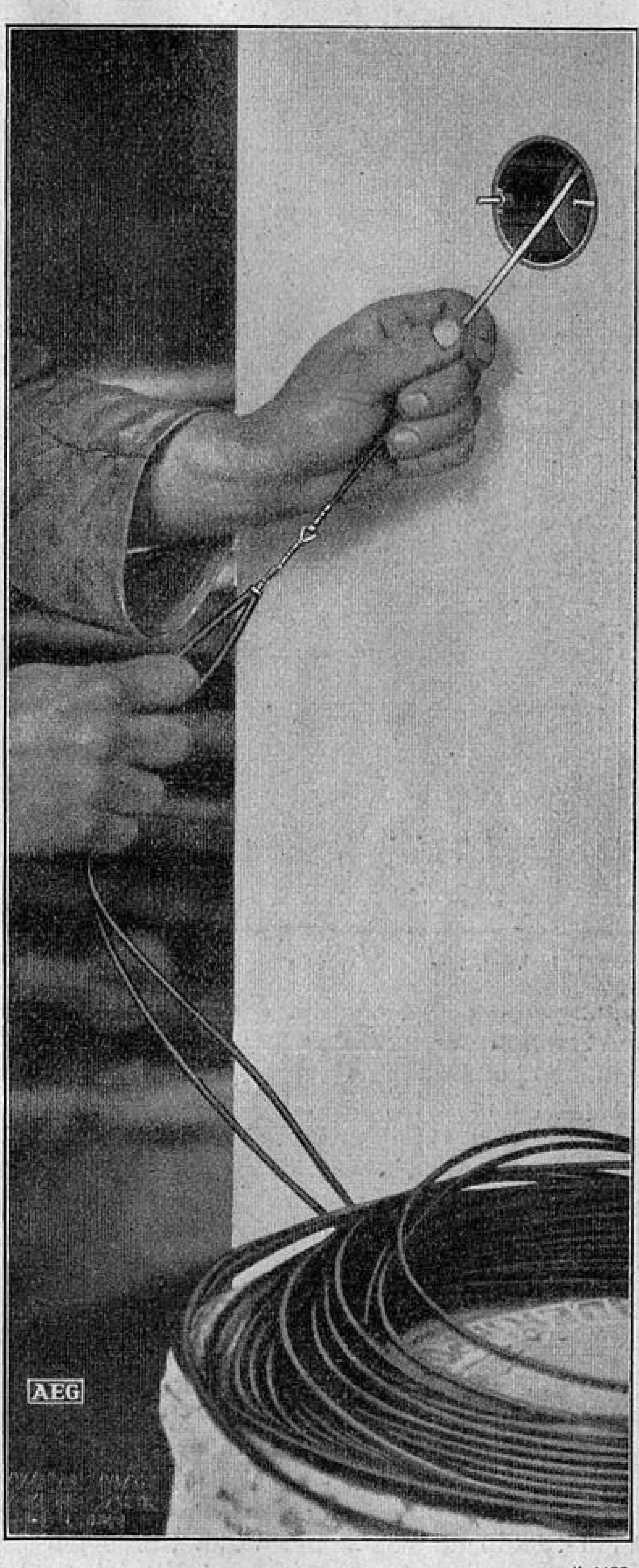
Abb. 26. Fertige Gummirohr-Verlegung an der Verteilung. K 1196

des rohen Mauerwerkes bedeckt werden (Abb. 26). Die Verwendung von Winkel- und T-Stücken ist unter Putz ausgeschlossen, aber auch Dosen können nur in bestimmten Arten verwendet werden. Die Dosen müssen nämlich mit dem Putz genau bündig sitzen. Besitzen die Dosen nun aufliegende Deckel, so würden diese aus der Wandebene hervorragen und sehr auffallend sein. Die Dosen aber um die Deckelstärke tiefer einzulassen, ist auch nicht möglich, da dann bei Abnehmen des Deckels der Putz ausbröckeln würde. Man verwendet daher nur Dosen, die entweder einen eingelassenen Deckel besitzen oder mit einem Blechdeckel von verschwindend geringer Stärke verschlossen werden. Während auf Putz die Lage der Rohranschlüsse an der Abzweigdose wegen des guten Aussehens immer rechtwinklig zueinander sein soll, kann unter Putz die Anordnung der Löcher beliebig sein. Daher nimmt man hier gern Dosen, die keine fertigen Löcher besitzen, sondern die man erst

Abb. 27. Fertige Gummirohr-Verlegung unmittelbar vor dem Putzen. K 1197

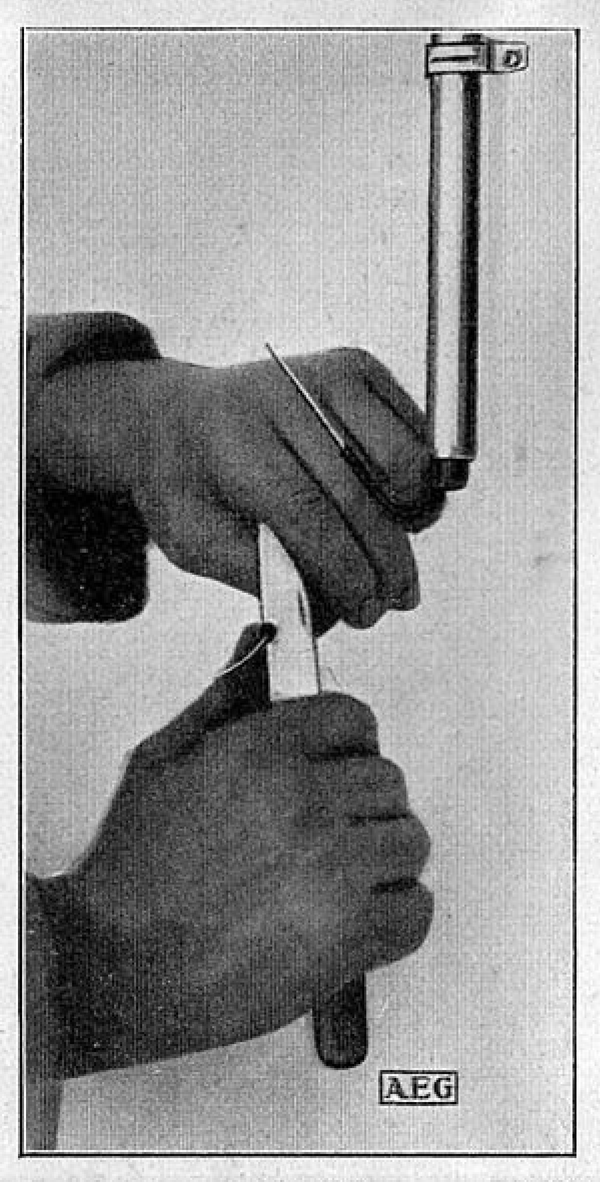
auf dem Bau selbst nach Bedarf locht (Abb. 24).

Viel bequemer hinsichtlich der Verlegung unter Putz ist Gummiinstallationsrohr. Es wird ebenfalls in 3 m langen Stücken geliefert, ist aber im ganzen so biegsam, daß es ohne weiteres mit der Hand allen Krümmungen angepaßt werden kann und sich auch allen unvermeidlichen Unebenheiten des Mauerwerks vollkommen anschmiegt (Abb. 25). Die Verbindung geschieht durch einfaches Zusammenschieben in entsprechenden Muffen. Die Befestigung erfolgt in gleicher Weise wie bei Isolierrohr mit Metallmantel durch wechselseitig in die Fugen eingeschlagene Drahtstifte. Bei Wechsel der Leitungsrichtung, also bei allen schärferen Krümmungen, Ellbogen u. dgl., werden über das Rohr Spiralen aus verzinktem Eisendraht geschoben, die eng gewickelt sind, so daß Windung an Windung liegt. Nach dem Aufschieben zieht man die Spiralen dann so auseinander, daß zwischen zwei Windungen etwa 1 cm Abstand ist (Abb. 21). Dadurch wird dem weichen Rohr diejenige Festigkeit gegeben, welche zur Vermeidung von Knikken und zum leichten Einziehen des Drahtes notwendig ist. Auch an allen frei aus der Wand hervorragenden Enden des Rohres empfiehlt sich die Verwendung von Spiralen als Schutz gegen Beschädi-



K 1198

Abb. 28. Einschieben des Stahlbandes und Einziehen des Drahtes.



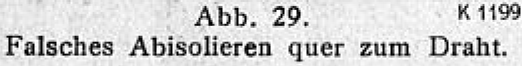


Abb. 29. K 1199
Falsches Abisolieren quer zum Draht.

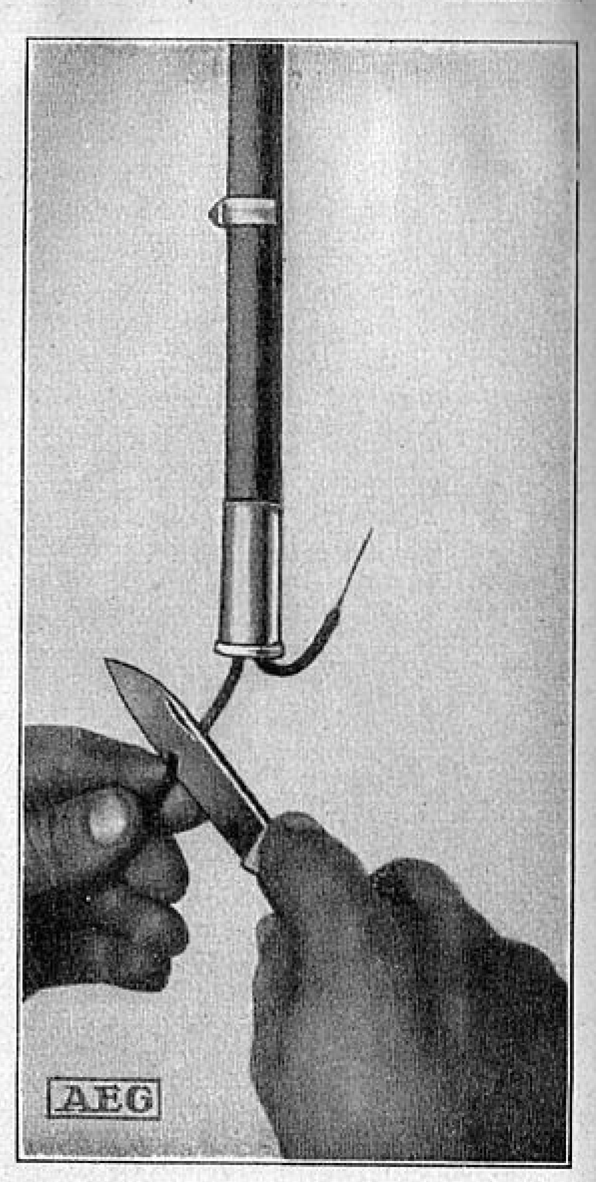


Abb. 30. Richtiges Abisolieren. Messer fast parallel zum Draht geführt. K 1200

gungen bei späteren Bauarbeiten (Abb. 27). Ueber die Anordnung von Abzweigdosen gilt das bei der Verlegung von Isolierrohr mit Metallmantel unter Putz Gesagte, doch verwendet man hier dem Rohr entsprechend auch Dosen aus Isoliermaterial (nicht Papier) ohne Metallmantel. Die Löcher für die Rohre werden hier ebenfalls auf dem Bau gebohrt, gebrannt oder gestanzt (Abb. 24). Einer gewissen Beachtung bedarf die Behandlung des Gummirohrs vor der Verlegung. Im Winter ist es frostfrei zu lagern. Ein einzelnes Rohr wird am besten zu einem Ring von größerem Durchmesser zusammengebunden. Größere Mengen sollen auf eine Latte gebunden oder besser in Kisten befördert werden.

Einziehen der Drähte, Montage der Schalter und Sicherungen.

Das **Einziehen des Drahtes** geschieht bei allen Rohrarten in gleicher Weise. Es empfiehlt sich, solange wie möglich damit zu warten, damit das Mauerwerk, wenigstens aber die Rohre im Innern ausgetrocknet sind. Hierzu läßt man entweder alle Dosen offen oder sorgt durch Löcher in den Deckeln für guten Durchzug der Luft. Um den Draht einzuziehen, wird ein Stahlband von 3 bis 5 mm Breite mit demjenigen Ende, an welchem sich eine Kugel befindet, in das Rohr geschoben, bis es an der nächsten Oeffnung, Dose, Schalter oder dgl. herauskommt. An dem anderen in

eine Oese auslaufenden Ende des Stahlbandes werden die Drähte angebunden. Man zieht immer alle in ein Rohr gehörigen Drähte gleichzeitig ein, indem man einen Draht an dem andern befestigt (Abb. 28). Hierbei ist darauf zu achten, daß die Bindestelle nicht zu dick wird. Während ein Mann am Stahlband zieht, schiebt ein anderer die Drähte nach. Man kann diese auch zum besseren Schlüpfen mit Talkum bestreichen, indem man dies in die Hand nimmt und die Drähte hindurchzieht.

Nach fertiger Verlegung des Rohres und Einziehen des Drahtes können die Verbindungen der Drähte

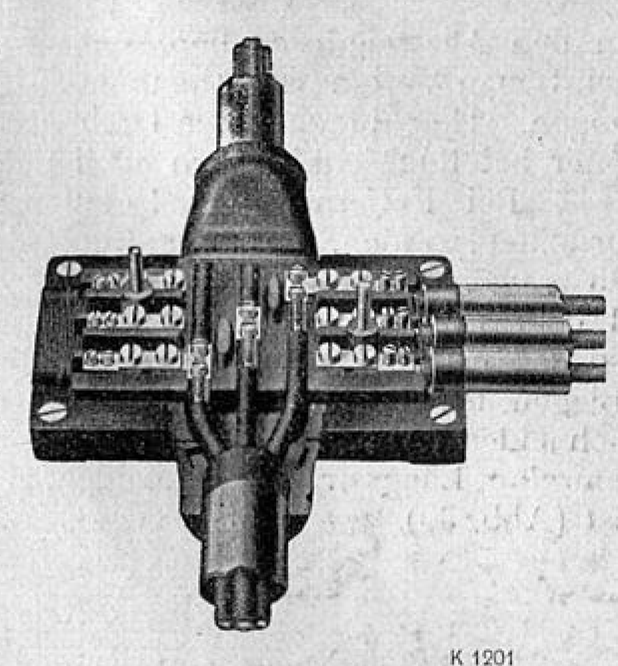


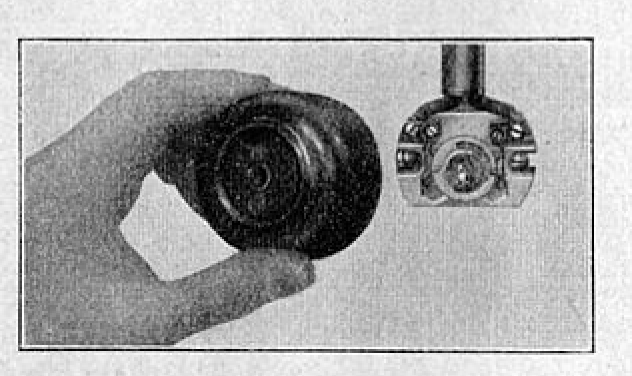
Abb. 31. Tenacitabzweigklemme. (Offen.)

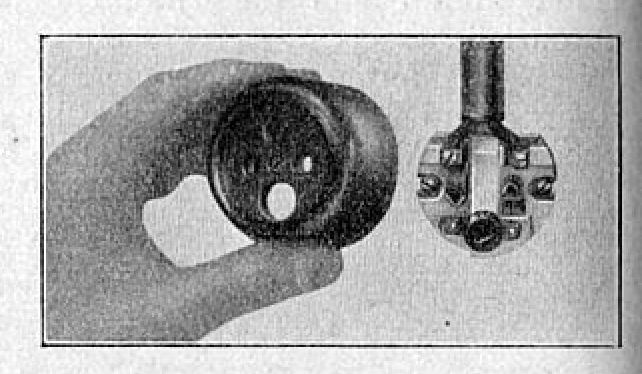
K 1202

Abb. 32. Verteilung mit Streifensicherungen, Hauptschalthebel und Steigleitungsabzweig.

in den Abzweigdosen hergestellt werden. Bei Verlegung auf dem Putz wird man Verbindungsklemmen auf Unterlagen aus Isoliermaterial bevorzugen. Hier braucht der Draht nur abisoliert und in Form einer Oese oder bei Buchsenklemmen auch geradlinig eingeführt zu werden.

Bei Entfernen der Isolation des Drahtes muß sorgfältig darauf geachtet werden, daß der Kupferdraht selbst nicht verletzt wird. Der zu gewöhnlichen Lichtanlagen in der Regel verwendete Draht von 1 oder 1,5 qmm Querschnitt kann dabei leicht eingeschnitten werden, so daß er eine Verringerung des Querschnittes erleidet und bei späterem Biegen leicht abbricht. Man darf daher die Isolation niemals quer einschneiden (Abb. 29), sondern nur mit dem Messer am Draht entlang einzelne Längsstreifen schneiden, bis die Isolation ringsherum entfernt ist (Abb. 30).





K 1203 **Abb. 33.** K 1204

Montage eines Einheits-Schalters auf Putz.

Montage einer Einheits-Steckvorrichtung auf Putz.

Neuerdings dürfen zur Verbindung von Leitungen in Rohrdosen nur Schraubverbindungen gewählt werden. Lötstellen sind verboten, weil sie nicht genügend kontrolliert und bei Störungen nicht gelöst werden können.

Während bei kleinen Querschnitten in Dosen eingelegte Klemmen genügen, müssen für größere Querschnitte besondere Anordnungen gewählt werden. Als solche haben sich Tenacit-Abzweigklemmen am besten bewährt, die in der Hauptsache für Haupt- und Steigleitungen bei Verlegung in Rohr auf dem Putz Verwendung finden sollen. Das Auflöten von Kabelschuhen ist hierbei überflüssig; auch lassen sich alle Schaltungen bequem herstellen (Abb. 31). Auch wenn mehrere Leitungen in einem Rohre verlegt werden, lassen sich die Abzweigklemmen mit Hilfe besonderer trichterförmiger Einführungsarmaturen verwenden.

Da nach den Verbandsvorschriften Leitungen in erreichbarer Höhe verkleidet werden müssen, hat man bei der Anbringung von Schaltern, Sicherungen, Steckvorrichtungen, Verteilungstafeln u. dgl. fast stets mit der Verlegung der Leitungen in Rohr zu rechnen, die als die weitaus verbreitetste Art der „Verkleidung“ anzusehen ist. Die vorgenannten Apparate haben daher alle diejenigen Einrichtungen, welche zum Uebergang der Leitungen in Rohre notwendig sind.

Das **Anbringen der Schalter** erfolgt bei Verlegung der Leitungen auf dem Putz, nachdem Rohr und Draht fertig auf der Wand montiert sind. Die Schalter und Steckvorrichtungen sind mit einer Aussparung versehen, in die das Rohr hineinragen soll. Die Befestigung des Unterteils auf der Wand erfolgt zweckmäßig mit Spiraldübeln

(siehe Abb. 14), deren Schrauben nach dem Eingipsen herausgedreht werden. Der Schalter oder die Steckdose wird dann vermittels der Schrauben auf der Wand befestigt; die Leitungsdrähte werden abisoliert (Abb. 30), zurechtgebogen und mit den Anschlußklemmen verbunden (Abb. 33). Alsdann wird die Kappe darüber befestigt, die alle stromführenden Teile der Berührung entzieht.

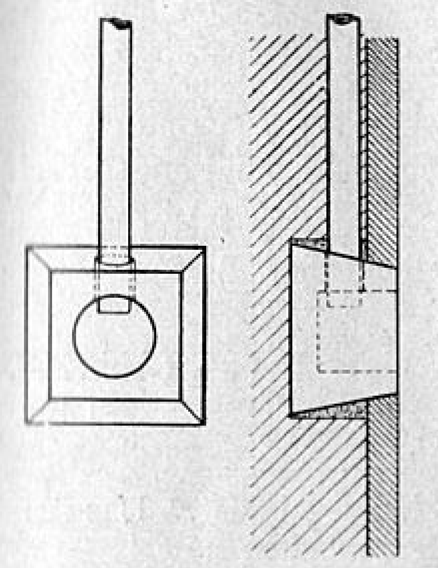


Abb. 34. K 1205
Imprägnierter Holzdübel für Schalter auf Putz bei Verlegung des Rohres unter Putz.

Liegen die Leitungen unter Putz, während die Schalter auf dem Putz sitzen sollen, so muß man die Rohrleitungen schon bei der Verlegung in entsprechenden Holzdübeln endigen lassen. Beim Einlegen der Rohre werden in Asphalt getränkte Holzdübel eingesetzt, deren vordere Fläche mit dem Putz (nicht mit dem rohen Mauerwerk) bündig liegen muß; dies trifft auch für Steckvorrichtungen zu (Abb. 34). Auf den Dübeln kann dann die Montage der Schalter erfolgen wie bei Verlegung der Rohre auf dem Putz, doch ist darauf zu achten, daß das Einführungsloch im Sockel nach unten gerichtet ist, oder besser noch sind Schalter mit niedrigem Sockel ohne Rohreinführung zu verwenden.

Sollen die Schalter wie die Rohrleitungen unter Putz liegen, d. h. in die Wand so eingelassen sein, daß lediglich der Knebel herausragt, so müssen statt der Holzdübel besondere Schaltergehäuse eingesetzt werden. Bei der Verlegung des Rohres wird die für die Schalter ausgestemmte Höhlung zunächst offen gelassen, bis geputzt ist (Abb. 35). Das Einsetzen der Gehäuse erfolgt am besten nach dem Putzen, da es

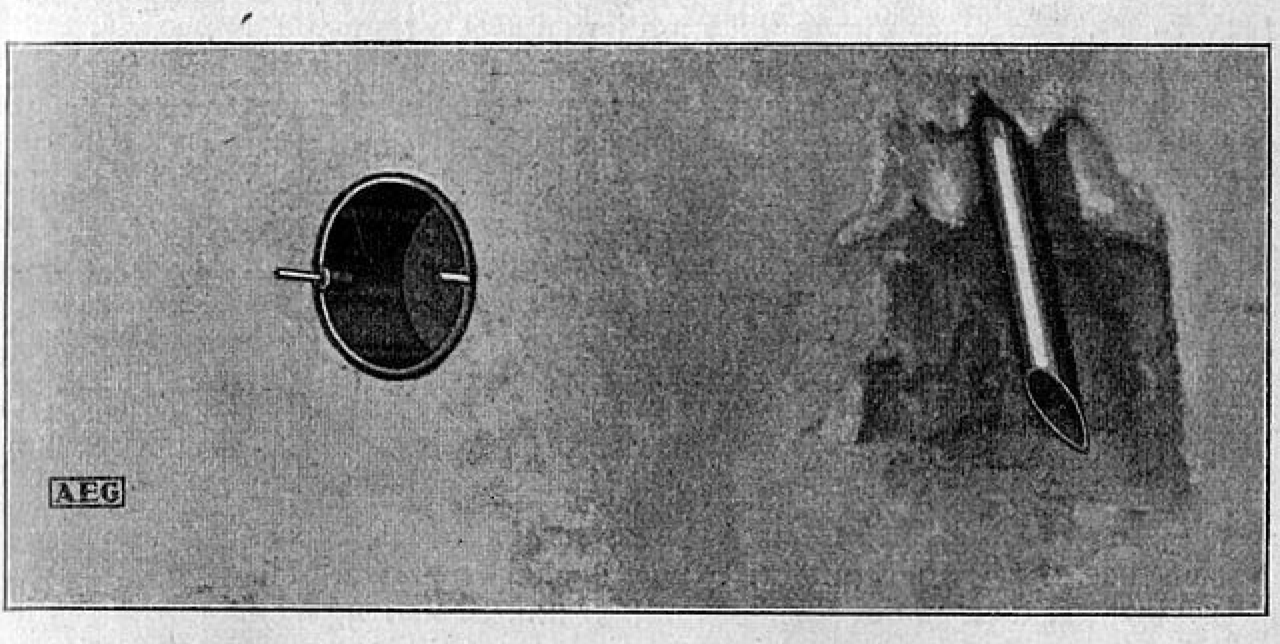


Abb. 35. K 1206
Schaltergehäuse, fertig eingesetzt, und die Aussparung vor dem Einsetzen des Gehäuses.

hierbei besonders darauf ankommt, daß die Vorderkante mit der Wand genau abschneidet. Die Gewindelöcher in den Gehäusen werden, um nicht mit Mörtel verunreinigt zu werden, am besten durch kleine

Holzpflöckchen (Streichhölzer) verschlossen (Abb. 35), die bei der Montage der eigentlichen Schalter entfernt werden. Diese kann dann nach vollkommener Fertigstellung der Wände, also nach Erledigung der Tapezierer- und Malerarbeiten, ohne weiteres erfolgen, da alle Befestigungsvorrichtungen fertig eingesetzt sind.

Einheitsinstallationsmaterial. Dieses nach neuen Gesichtspunkten entwickelte Installationsmaterial gewährleistet wesentliche Ersparnisse durch Vereinfachung der Montage, der Lagerhaltung und in der Instandhaltung. Schalter, Steckdosen und Abzweigdosen haben gleiche Form und Größe; die Befestigungslöcher in den Sockeln sind in gleichem Abstand angeordnet und für die gleiche Art und Stärke der Befestigungsschrauben vorgesehen.

Diese einheitlichen Abmessungen der Sockel aller Apparate gestatten die wahlweise Verwendung:

für Montage auf Putz durch Ueberstülpen einer Kappe (Abb. 33),
für Montage unter Putz durch Verwendung von Einhängebügeln und entsprechenden Abdeckplatten (Abb. 36).

Auch die Anschlußklemmen sind einheitlich ausgebildet. Das Anklemmen der Zuleitung erfolgt zwischen großen, ebenen Kontaktflächen. Die Anschlußklemme gewährleistet einen gleichmäßig verteilten Druck auf der ganzen Drahtoberfläche.

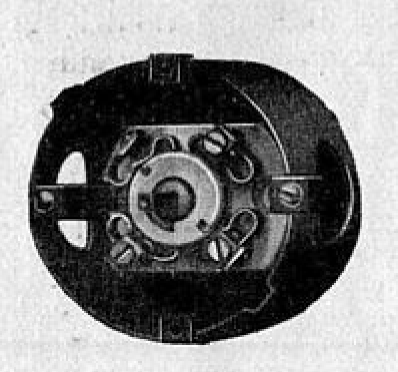


Abb. 36. K 1207
Einheitsschalter mittels Einhängebügel in einem Wandgehäuse, montiert.

Die Montage der Apparate ist außerordentlich einfach. Die Sockel werden auf der Wand befestigt, die Zuleitungen auf der Vorderseite angeschlossen (die Anschlüsse sind also leicht zu prüfen) und die Kappen über die montierten Sockel gestülpt. In der Kappe ist eine Rohreinführung für 11 mm Isolierrohr als normal angeordnet. Die Einführung von Rohren anderer Abmessungen sowie von Rohrdrähten erfolgt durch Einsetzen entsprechender Rohrübergänge. Bei rückseitiger Einführung wird die Rohröffnung durch ein Verschlußstück verschlossen. Für Montage unter Putz erhält jeder Apparat einen Einhängebügel, welcher in dem Wandgehäuse angeschraubt wird. Das Abdecken der Gehäuse erfolgt durch Abdeckplatten aus Isoliermaterial oder Glas.



K 1208
Abb. 37.
Einheitsstecker mit 4-mm-Stiften während der Montage.

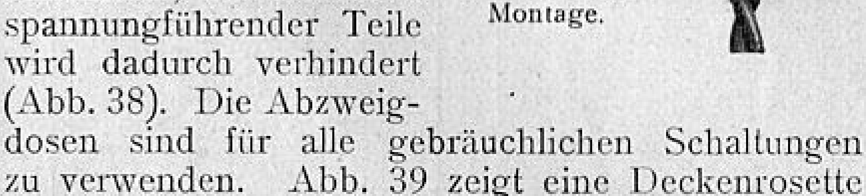
Die Schalter haben Kontaktfedern von hoher Elastizität und gestatten Rechts- und Linksschaltung. Die Steckdosen besitzen Federkontakte, die Stecker massive, ungeschlitzte Stifte. Die Stecker mit 5-mm-Stiften passen nur in die Einheitssteckdosen, während solche mit 4-mm-Stiften auch für alle anderen Steckdosen verwendbar sind. Die Schnurzugentlastung der Stecker erfolgt selbsttätig, eine Beschädigung an den Anschlußstellen der Leitungen ist ausgeschlossen (Abb. 37). Die gesicherten Steckdosen sind für Schmelzpatronen eingerichtet, welche nach Art der zweiteiligen Stöpsel durch eine Verschlußkappe gehalten werden. Die Auswechselung



K 1209

Abb. 38. Auswechseln der Schmelzpatrone einer Einheitssteckdose.

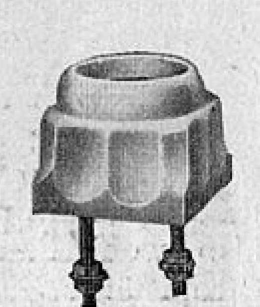
durchgebrannterSchmelzpatronen erfolgt von der Vorderseite der Steckdosen. Es ist deshalb nicht erforderlich, die Kappen der Steckdosen, wie bisher beim Einsetzen durchgebrannter Sicherungslamellen, vorher abzunehmen; ein Berühren spannungführender Teile wird dadurch verhindert (Abb. 38). Die Abzweigdosen sind für alle gebräuchlichen Schaltungen zu verwenden. Abb. 39 zeigt eine Deckenrosette während der Montage.



K 1210

Abb. 39. Einheits-Deckenrosette während der Montage.

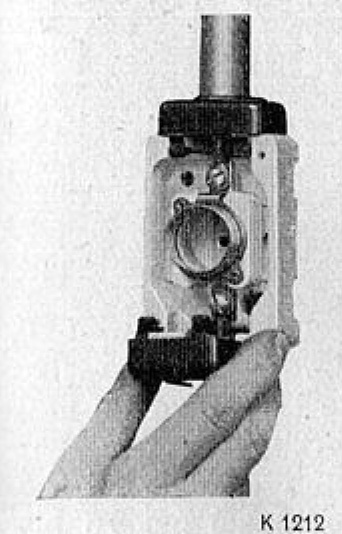
Sicherungen werden stets auf der Wand montiert. Für einzelne Stromkreise sind besondere Modelle für alle Stromsysteme zu haben (Abb. 41 und 42). Für mehrere Stromkreise verwendet man Verteilungstafeln mit Schalttafelsicherungen (Abb. 40). Das Gewinde der Sicherungen ist in bezug auf die Stromstärke abgestuft, und zwar kann das Gewinde E 1 bis 15 Amp., E 2 bis 25 Amp., E 3 bis 60 Amp., E 4 bis 100 Amp. und E 5 bis 200 Amp. belastet werden.



K 1211

Abb. 40. Schalttafelsicherung

Die eigentlichen Sicherungsorgane, welche in die Sicherungen eingesetzt werden, die **zweiteiligen Schmelzstöpsel,** bestehen aus der Einsatzpatrone, in der sich die Schmelzdrähte befinden, und der Schraubkappe (Abb. 43). Die Patrone besitzt in dem oberen Stirnkontakt einen Springkörper, der beim Durchbrennen der Schmelzdrähte freigegeben wird und durch das Fenster der Schraubkappe beobachtet werden kann. Der in den Errichtungsvorschriften des VDE. gestellten Forderung der Unverwechselbarkeit der Schmelzstöpsel



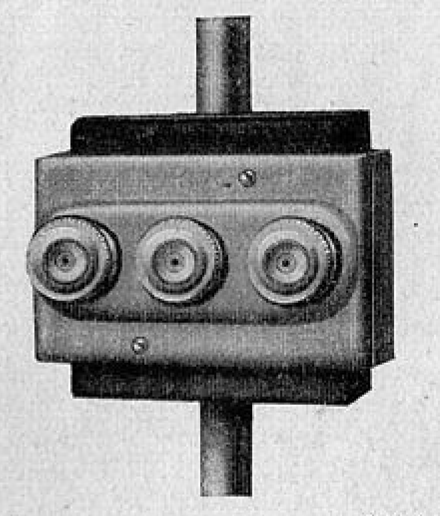
K 1212

a) Einpolig, Einklemmen der Rohreinführungen.



K 1213

b) Einpolig, fertig montiert.

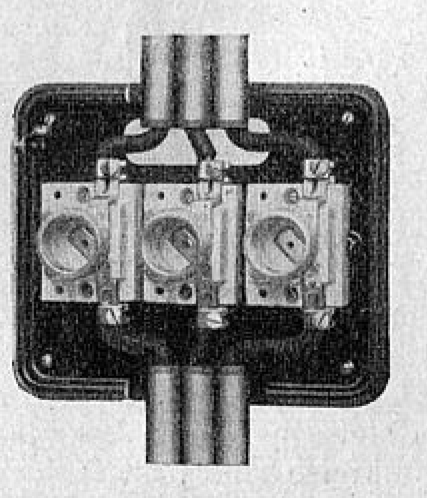


K 1214

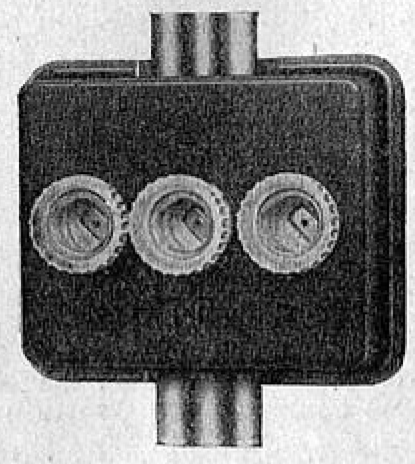
c) Dreipolig, fertig montiert, mit Schmelzstöpseln.

Abb. 41. Sicherungen mit oder ohne Nullschiene, ohne Schutzgehäuse.

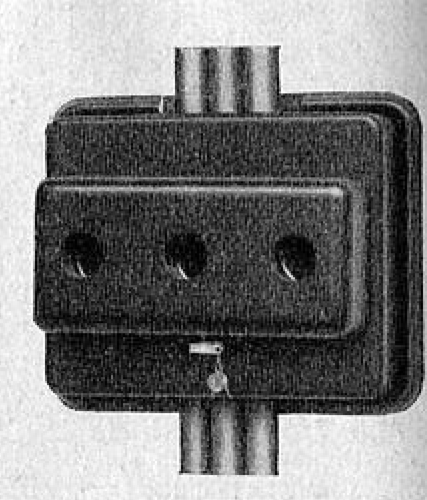
entspricht das System Zede, Type D mit Durchmesserunterschieden. Die Unverwechselbarkeit ist durch die Kontaktschraube gegeben. Diese sind mit einem Isolierkragen versehen und erhalten mit steigender Stromstärke größere Bohrungen, in welche die entsprechenden Kontakt-



a) Schutzkasten und Haube abgenommen. K 1215



K 1216 b) Mit Schutzkasten.

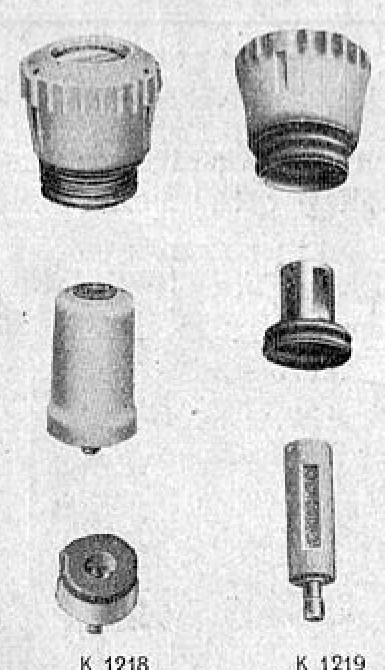


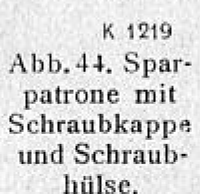
K 1217 c) Fertig montiert.

Abb. 42. Sicherungen mit oder ohne Nullschiene in Schutzgehäuse aus Stahlblech.

füße der Patronen greifen. Auf eine bestimmte Kontaktschraube passen also wohl Patronen geringerer Stromstärke, nicht aber solche höherer Stromstärke.

Eine besonders billige Patrone ist die Sparpatrone, welche zum Einsetzen in die Sicherung außer der normalen Schraubkappe noch eine Schraubhülse erfordert (Abb. 44), die aber beim Abschmelzen nicht erneuert zu werden braucht.

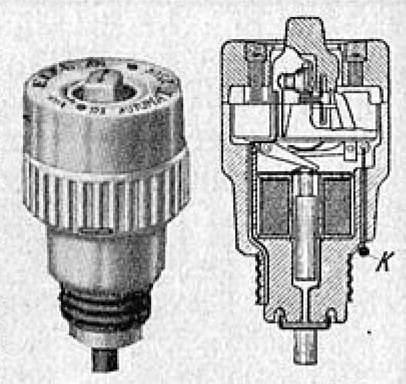




K 1218 Abb. 43. Patrone mit Schraubkappe und Kontaktschraube.

K 1219 Abb. 44. Sparpatrone mit Schraubkappe und Schraubhülse.

Für die Verwendung in Stöpselsicherungen ist ferner der von der AEG hergestellte Kleinautomat in Stöpselform, **Elfa-Automat,** sehr vorteilhaft, da er für beliebig viele Auslösungen benutzt werden kann (Abb. 45). Er wird ebenfalls nach dem Zede-System gebaut und schaltet jede Ueberlastung und jeden Kurzschluß unbedingt zuverlässig ab. Die Ausschaltung der 6-Amp.-Automaten erfolgt bei 9,5 bis 10Amp. und der 10-Amp.-Stöpsel bei 16 bis 16,4 Amp., also innerhalb der von den Leitsätzen des VDE. vorgeschriebenen Grenzen, welche zwischen 7 und 11 Amp. bzw. 11 und 18 Amp. liegen. Die Wiedereinschaltung geschieht mittels des Schaltknebels, auf welchem ein Pfeil

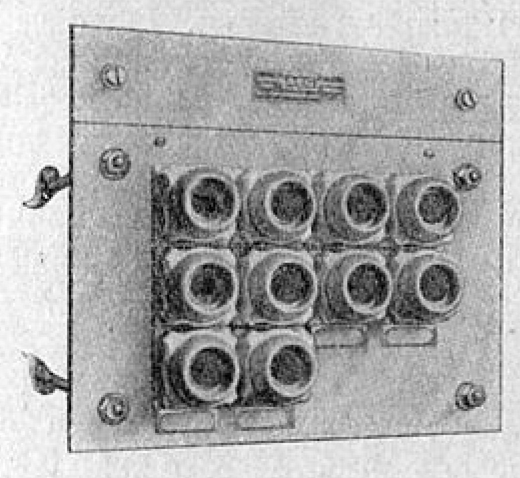


K 1220

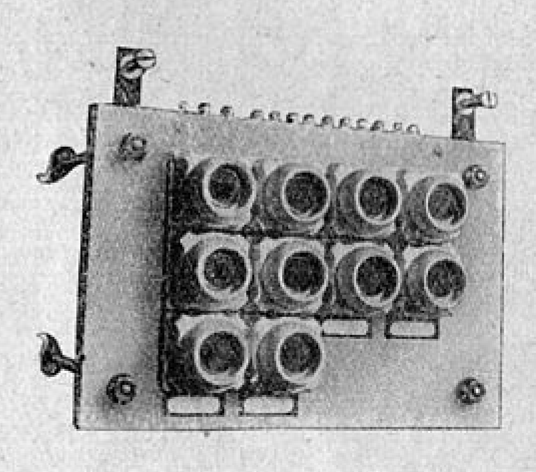
Abb. 45. Elfa-Automat. Ansicht. Längsschnitt.

die jeweilige Schaltstellung erkennen läßt. Zu diesem Zweck ist der Stöpsel aus der Sicherung herauszuschrauben und die Sperrvorrichtung durch Ziehen an dem Kopf K (Abb. 45) zu betätigen, die den Knebel in der Einschaltstellung festhält. Die Handhabung des Automaten ist also nur in stromlosem Zustande möglich.

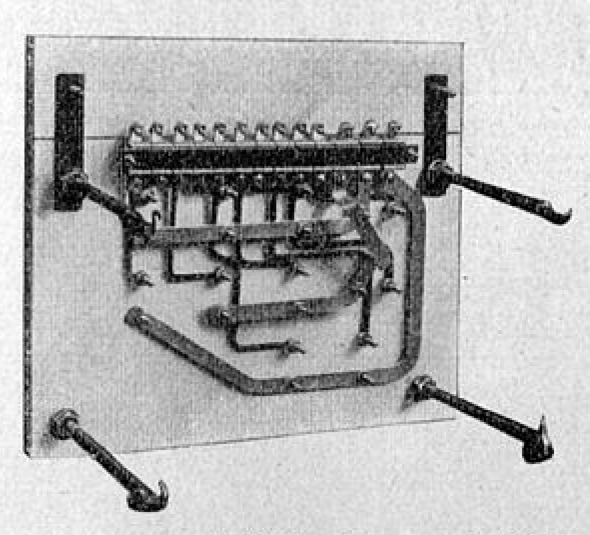
Schalt- und Verteilungstafeln mit unzugänglicher Rückseite müssen nach den Vorschriften des VDE. vom 1. Juli 1924 so beschaffen sein, daß nach ihrer betriebsmäßigen Befestigung an der Wand die Leitungen derart angelegt und angeschlossen werden können, daß die Zuverlässigkeit der Leitungsanschlußstellen von vorn geprüft werden kann. Die Klemmstellen der Zu- und Ableitungen dürfen nicht auf der Rückseite der Tafeln oder Gerüste liegen.



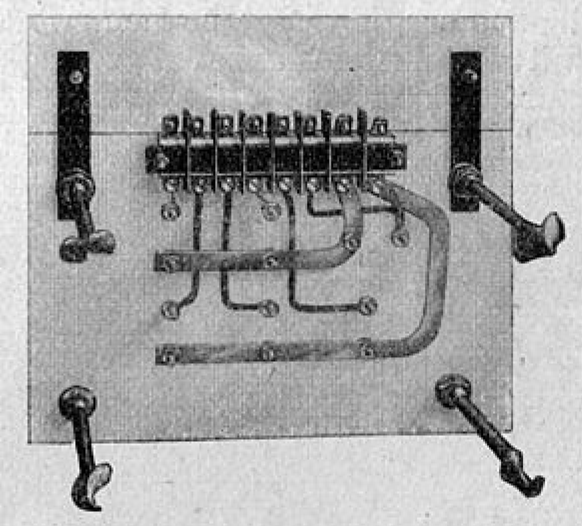
a) Vorderansicht. K 1221



b) Vorderansicht, Schutzleiste abgenommen K 1222



c) Rückansicht. K 1223



d) Rückansicht, zwischen den Klemmen befinden sich Isolierscheiben. K 1224

Abb. 46. Verteilungstafel mit Schalttafelsicherungen.

Eine empfehlenswerte Konstruktion, welche diese Vorschrift berücksichtigt, ist in Abb. 46a—d veranschaulicht. Als Verbindung mit den Leitungen sind Anschlußklemmen zum Aufreihen auf Flacheisen verwendet worden. Bei Spannungen über 250 Volt sind zweckmäßig zwischen die

Klemmen noch isolierende Zwischenlagen aus Preßspan einzufügen. Das Flacheisen wird mittels zwei Schrauben von der Vorderseite der Tafel aus in solcher Höhe an die Rückseite geschraubt, daß die Isolierkörper der aufgereihten Klemmen mit der Oberkante der Tafel abschneiden.

Die Montage der Tafel erfolgt wie gewöhnlich mit 4 Steinschrauben. Die beiden oberen tragen auf einem Vierkant eine kleine Flacheisenschiene, an welche zur Abdeckung der überstehenden Klemmschrauben je nach dem Material der Schalttafel eine Leiste aus Marmor oder Schiefer befestigt wird. Ein seitliches Verdrehen der beiden Eisenschienen wird durch den Vierkant verhindert.

Verteilungstafeln sollen nach den Errichtungsvorschriften des VDE. durch eine Umrahmung oder ähnliche Mittel so geschützt sein, daß Fremdkörper nicht an die Rückseite der Tafel gelangen können. Für die Umrahmung ist die Verwendung von Holz zulässig. Der Mindestabstand spannungführender, rückseitig angeordneter Teile von der Wand oder an derselben verlegten metallumkleideten Rohre soll 15 mm betragen.

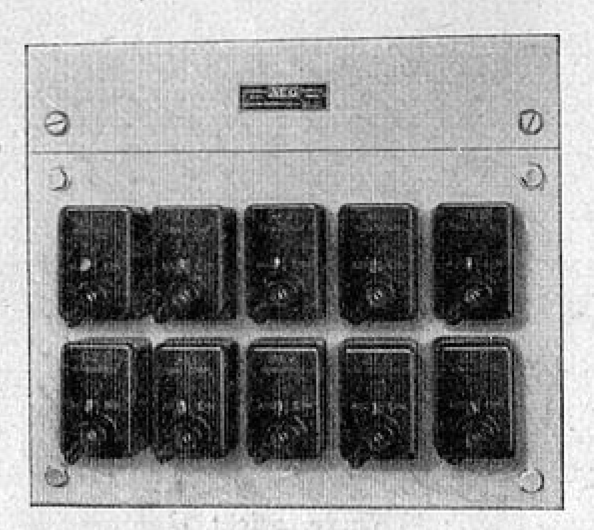


Abb. 47. K 1225
Verteilungstafel mit Kleinautomaten.

Anstatt Sicherungen werden neuerdings sowohl für Einzelmontage als auch für Verteilungstafeln vielfach die von der AEG hergestellten einpoligen **Kleinautomaten** verwendet. Sie stellen einen vollkommenen Ersatz des Sicherungsstöpsels dar und schalten bei Ueberlastung infolge der Freiauslösung auch dann aus, wenn der Bedienungsgriff festgehalten wird. Abb. 47 zeigt eine Verteilungstafel mit Kleinautomaten, die zwanglos in der üblichen Weise ausgeführt werden kann.

Verlegung von Rohrdraht.

Rohrdraht ohne Stromleitung des Mantels.

Der Rohrdraht, welcher äußerlich wie ein Isolierrohr von geringem Durchmesser erscheint, unterscheidet sich von diesem vor allem dadurch, daß er in ganzen Ringen bis zu etwa 50 m Länge hergestellt wird, während Isolierrohr höchstens in 3 m langen Stangen zu beziehen ist. Dies ermöglicht im allgemeinen nur da Schnittstellen zu machen, wo die Zwischenschaltung von Apparaten, Abzweigdosen oder dgl. ohnehin notwendig ist. Zwischen zwei Apparaten oder Dosen hat also der Rohrdraht keine Unterbrechung. Um Reste zu verarbeiten und bei ungewöhnlich großen Längen kann man Durchgangsdosen verwenden, die lediglich beide Rohrdrahtenden miteinander verbinden. Die Verarbeitung von Rohrdraht mit Messingmantel ist die gleiche wie die von Rohrdraht mit verbleitem Eisenmantel. Bei letzterem ist entsprechend der Festigkeit des Mantels das Bearbeiten nur etwas unbequemer und schwerer. Rohrdraht wird im Gegensatz zu gewöhnlichem Leitungsdraht vor dem Verlegen auf Länge geschnitten, so daß das

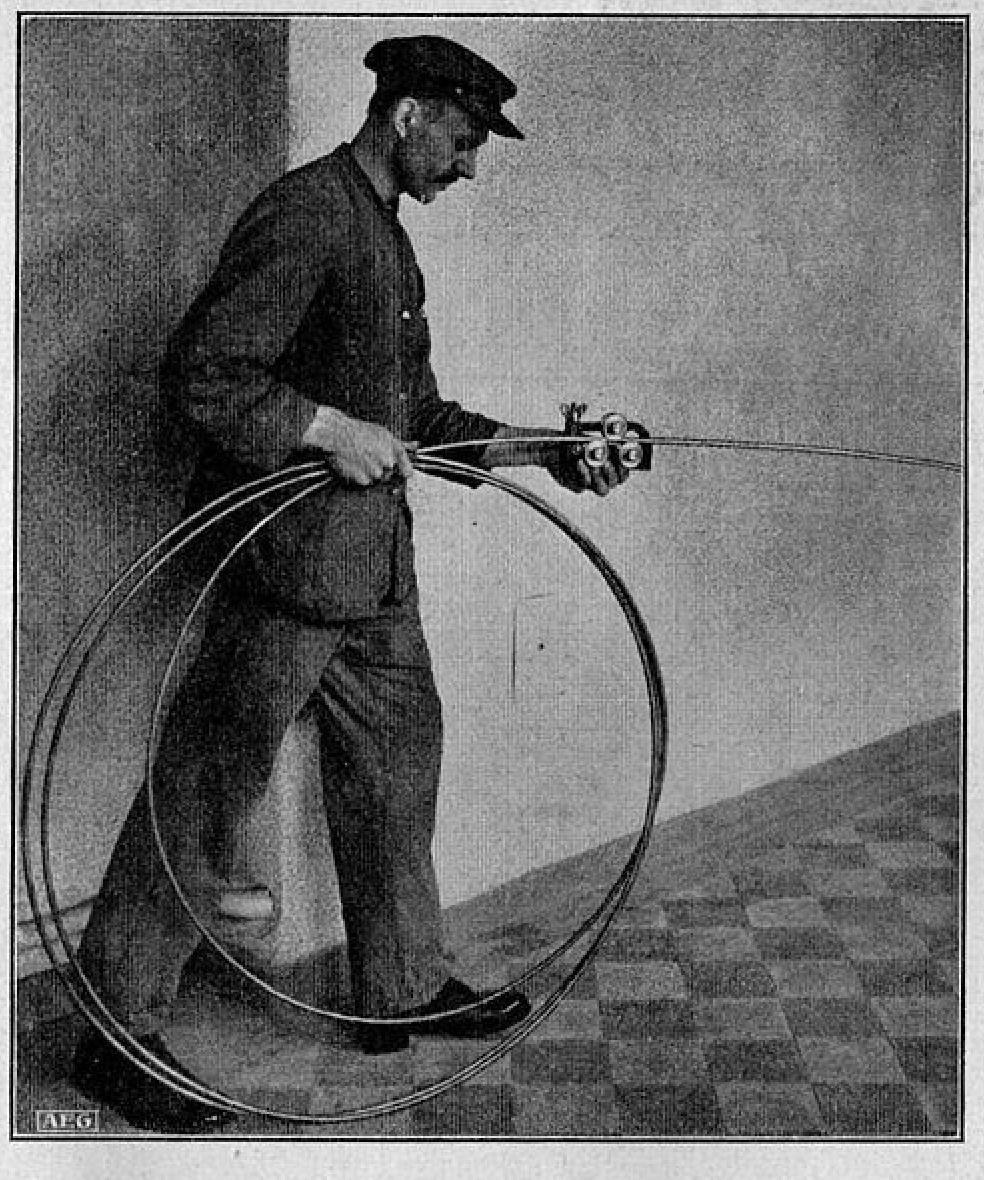


Abb. 48. K 1226

Richten des Rohrdrahtes mit dem Geraderichter. Beim Durchschieben muß der Falz stets an derselben Stelle liegen.

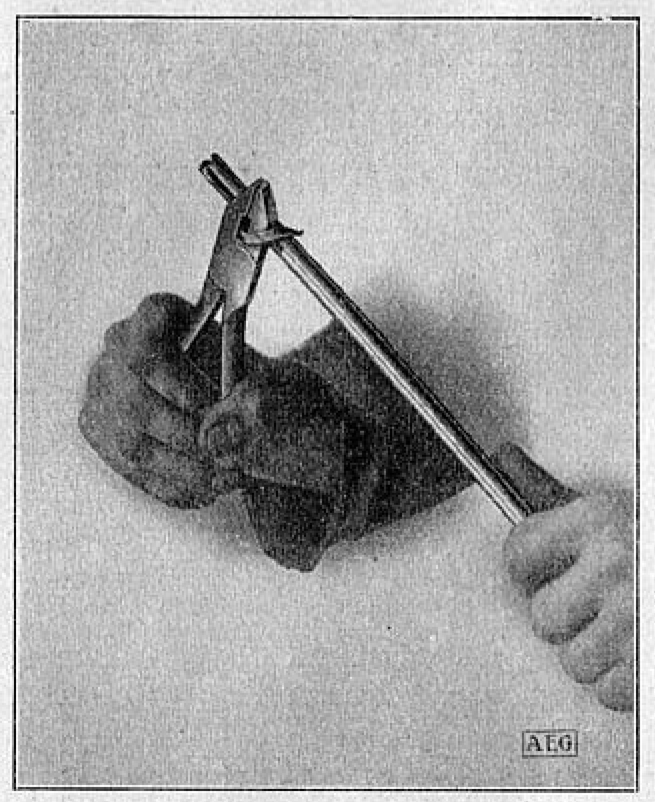


Abb. 49. Das Abmanteln geschieht am einfachsten durch Abreißen des Falzes bis zu einem vorher hergestellten Einschnitt. K 1227

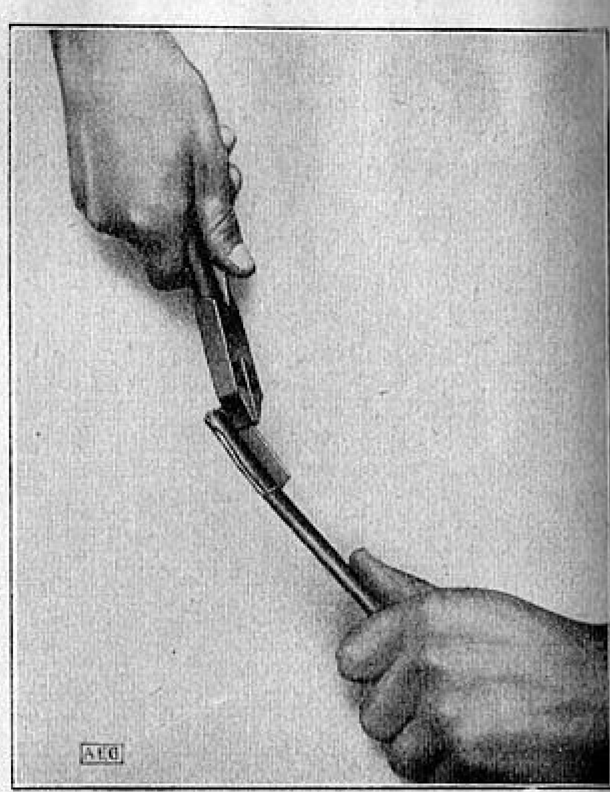


Abb. 50. Nach dem Entfernen des Falzes wird das Mantelblech nach außen abgerissen. K 1228

abgeschnittene Stück genau die zwischen zwei Apparaten notwendige Länge hat. In fast allen Fällen sind dies Stücke bis zu etwa 6 m. Längere Enden kommen nur im wagerechten Verlauf, in Korridoren oder rings um ein Zimmer usw. vor; hier kann man die genaue Länge durch Aufrollen am Fußboden leicht feststellen. Das Abschneiden geschieht mit dem Seitenschneider der Patentzange wie bei gewöhnlichem Draht. Das Quetschen der Isolierung hat hier keine Bedeutung, da die Enden doch stets abisoliert werden. Das abgeschnittene

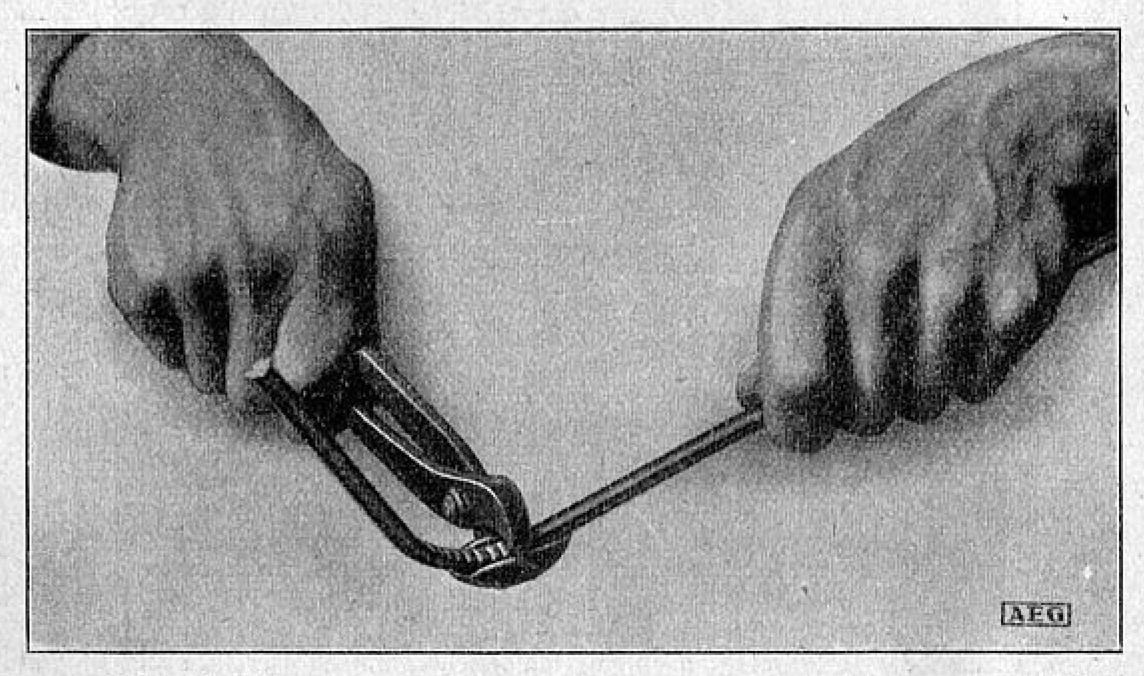


Abb. 51. Biegen des Rohrdrahtes mit genau passender Biegezange. K 1229

Stück muß vor dem Verlegen geradegerichtet werden. Diese Arbeit erfordert eine gewisse Uebung. Im allgemeinen hat es sich am besten bewährt, den Geraderichter nach dem Aufsetzen auf das Ende des Rohrdrahtes in der linken Hand zu halten und mit der rechten den Rohrdraht hindurchzuschieben (Abb. 48). Hierbei muß der Falz stets genau die gleiche Lage haben und darf nicht verdreht werden, d. h. nicht in langen Spirallinien um den Rohrdraht herumlaufen. Wenn beim vorhergehenden Abwickeln das Verdrehen vermieden wird, macht das richtige Durchschieben des Rohrdrahtes keine besonderen Schwierigkeiten. Kann man dauernd in unmittelbarer Nähe des Arbeitsplatzes einen Tisch benutzen, so ist die Befestigung des Geraderichters an diesem natürlich bequemer, da man dann beide Hände für das Durchschieben frei hat. Doch wird sich dem Monteur hierfür nur selten Gelegenheit bieten. Dagegen läßt sich unter Umständen die Befestigung am unteren Teil der Stehleiter durchführen.

Vor dem Verlegen des Rohrdrahtes wird mindestens ein Ende abisoliert. Das geschieht am besten in der Weise, daß an der Stelle, bis zu welcher der Mantel entfernt werden soll, der Falz durchschnitten wird (Abb. 49). Bei Rohrdraht mit Messingmantel kann das bequem mit dem Montagemesser geschehen. Bei verbleitem Eisenmantel kann man eine Dreikantfeile dazu nehmen. Sodann wird mit dem Seitenschneider der Patentzange der Falz am Ende des Rohrdrahtes eingeschnitten und mit der Zange auf der ganzen Länge abgerissen. Nun



Abb. 52. K 1230

Neben einer gespannten Schnur werden die Stahldübel eingetrieben.

verbleibt nur noch das Entfernen des geschlitzten Mantelbleches. Mit der Zange wird dies nach außen abgerissen, so daß an der Begrenzungslinie des verbleibenden Mantels das Blech etwas nach außen gebogen bleibt (Abb. 50). Das ist wichtig, damit die Blechkante niemals in die Isolation eingedrückt werden kann. Es wäre also auch falsch, den Mantel ringsherum durchzuschneiden oder zu feilen. Nach dem Entfernen des Mantels gestaltet sich das Abisolieren ebenso leicht wie bei gewöhnlichem Draht. Nur die Fasereinlagen, welche neben den eigentlichen Gummiaderdrähten im Rohrdraht enthalten sind, werden etwas von der Mantelkante entfernt abgeschnitten. Dagegen soll die Gummiaderisolation noch ein möglichst langes Stück über den Mantel herausragen, damit kein „Schluß“ durch letzteren vermittelt werden kann.

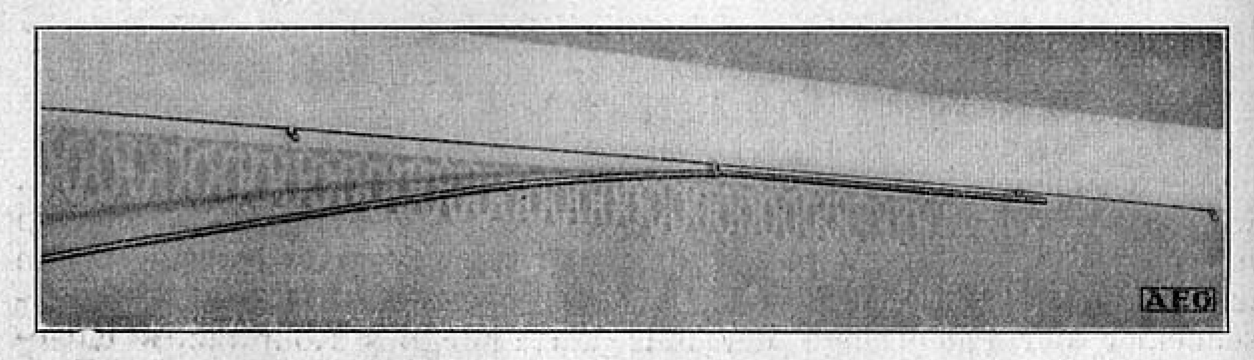


Abb. 53. Nach dem Schlagen der Stahldübel wird der Rohrdraht in die Schellen gelegt und ausgerichtet.

Ein Hauptvorzug des Rohrdrahtes ist, daß er sich allen Krümmungen der Linienführung genau anpassen läßt. Hierzu muß er im Stück gebogen werden. Dies geschieht genau wie bei Isolierrohr. Mit einer besonderen Biegezange werden an der Innenseite des Bogens einzelne Kniffe eingedrückt (Abb. 51), die nach Zahl und Abstand jede Schärfe der Krümmung zulassen. Der Falz soll hierbei an der Innenseite des Bogens liegen. Man soll jedoch nicht allzu scharfe Bogen machen, damit man nicht nötig hat, den Draht zu sehr zu knicken. Innere Ecken und räumliche Kanten, die also einen rechtwinkligen Knick voraussetzen würden, bedingen die Verwendung von Winkelstücken. Hier wird nur der Metallmantel mitten im Stück auf etwa 5 cm entfernt, so daß der volle Rohrdraht übrig bleibt. Dieser läßt sich dann rechtwinklig umlegen und in ein geteiltes Winkelstück aus Metall einlegen, das den entfernten Mantel ersetzt (Abb. 54).

Rohrdraht darf nur auf dem Putz verlegt werden. Durch seine geringe Stärke hat er ein besseres Aussehen als das entsprechende Isolierrohr und wird daher vor allem in fertig eingerichteten Räumen verwendet. Die Hauptsache ist also, den an sich schon dünnen Rohrdraht so zu verlegen, daß er dem Auge möglichst entzogen wird. Man soll daher für seine Linienführung stets vorhandene Linien der Raumausstattung wählen. Tapetenborten, gemalter Fries, Paneelkanten, Türverkleidungen und Zimmerecken sind für die versteckte Anbringung des Rohrdrahtes besonders geeignet. Hierbei sind solche Linien zu bevorzugen, die dem Licht abgewendet sind, die also im Schatten liegen, so daß der Rohrdraht möglichst nicht den Fenstern direkt zugekehrt ist.

Die Befestigung erfolgt in der Weise, daß am Anfang und Ende der betreffenden Bahn ein Stahldübel so weit neben der Linie des Rohrdrahtes eingetrieben wird, daß nach Anbringen der Rohrschellen der Rohrdraht genau an der beabsichtigten Stelle liegt. Zwischen diese beiden Dübel wird eine Schnur gespannt, die so lange dort bleibt, bis alle dazwischenliegenden Dübel an dieser Schnur entlang eingeschlagen sind (Abb. 52). Das Vorzeichnen mittels Schnurschlag, wie beim Verlegen des Isolierrohres, empfiehlt sich für Rohrdraht nicht, da die Zeichnung des Schnurschlages nachher nicht verdeckt wird und auf den fertigen Wänden auch nicht mehr überstrichen wird. Man würde also den vorgezeichneten Strich später leicht sehen können. Sind alle Dübel gesetzt und die Schellen lose aufgeschraubt, so kann man die vorher zugeschnittene, gerichtete und an einem Ende abisolierte Bahn des Rohrdrahtes aufbringen. Man befestigt den Draht in den ersten beiden Schellen lose und hängt ihn am anderen

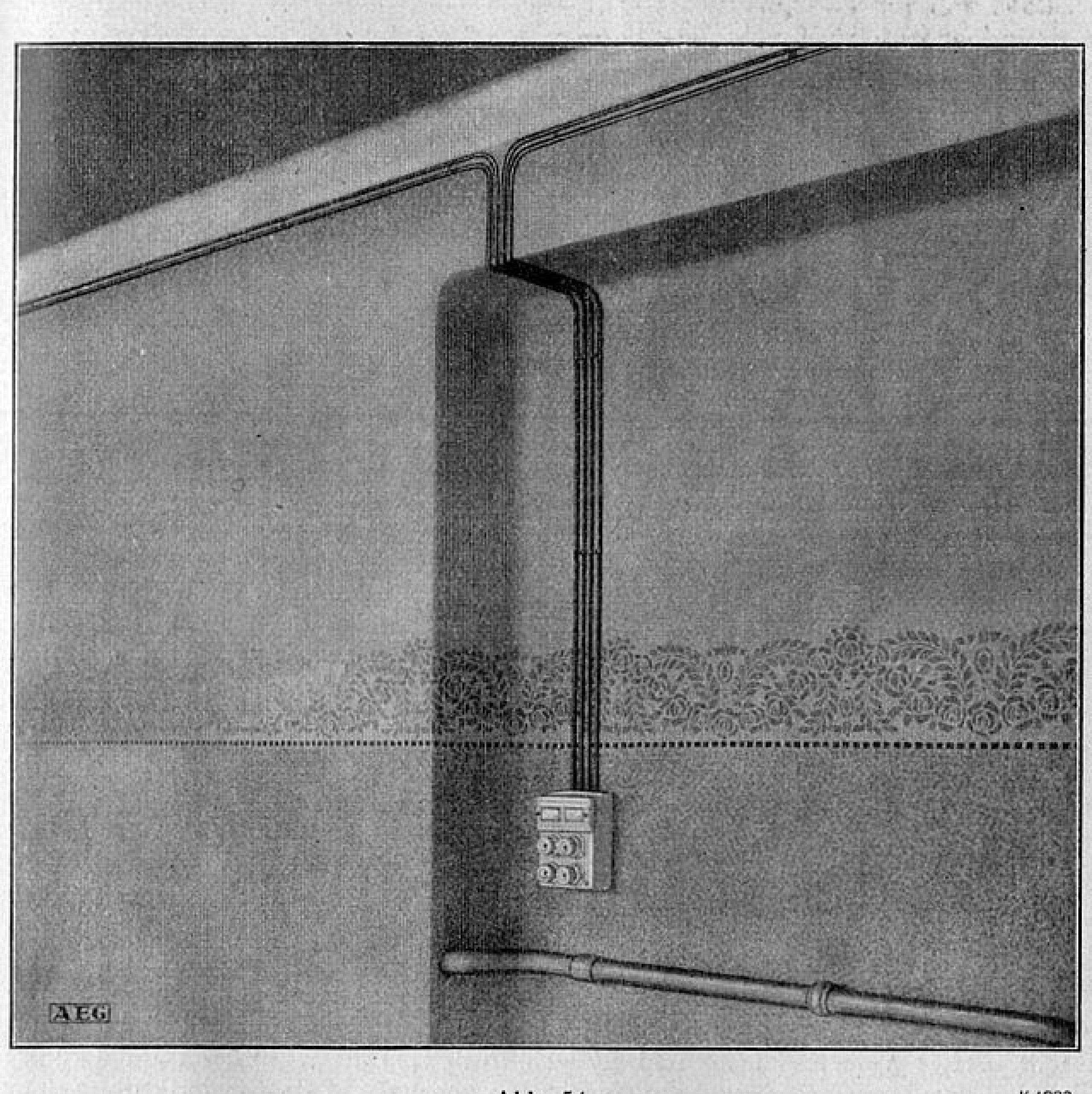
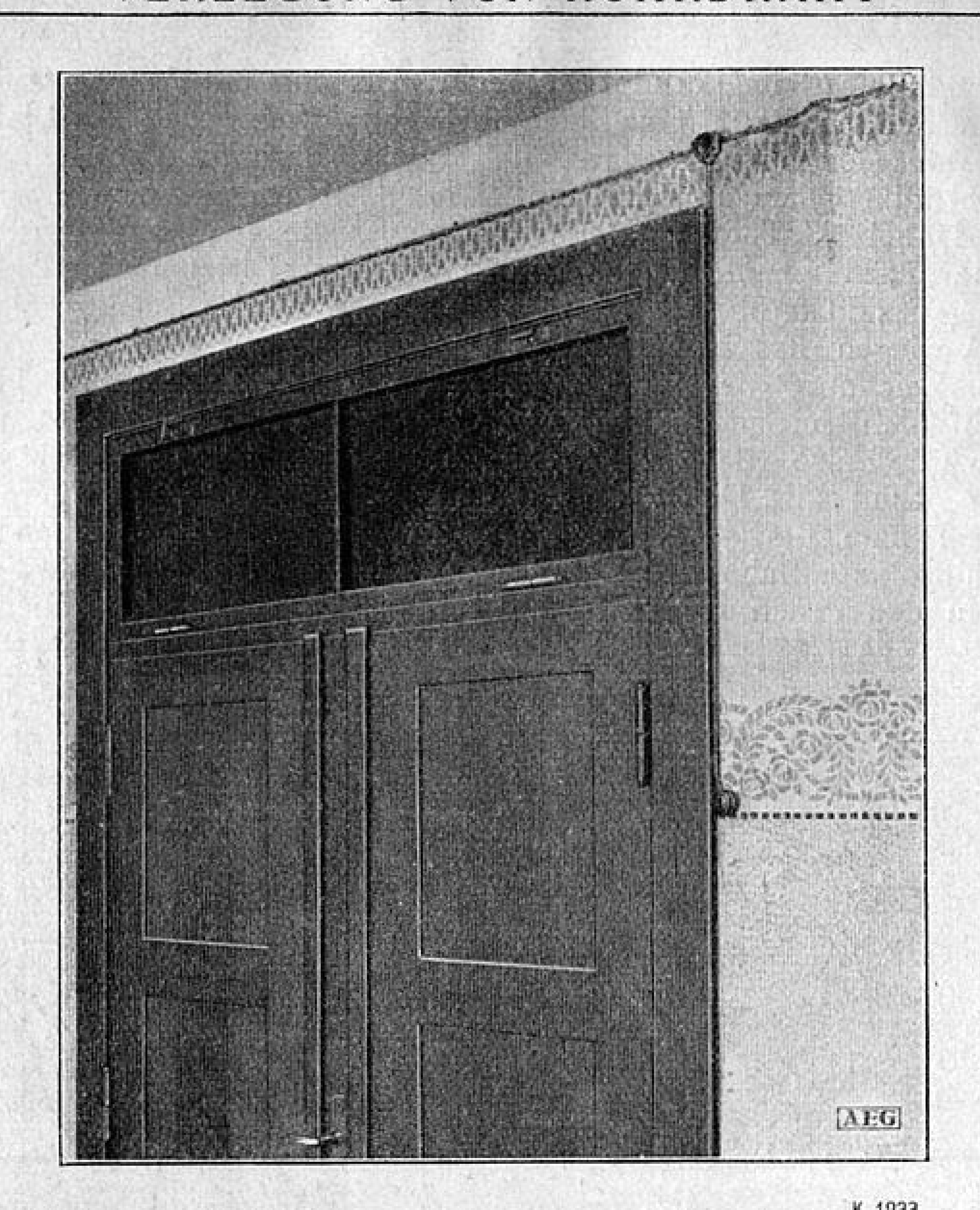


Abb. 54. K 1232

Fertige Rohrdrahtinstallation. Die senkrechte Leitung zeigt die Notwendigkeit von Winkelstücken. Wagerechte Leitung unauffällig am Wandfries geführt.



K 1233
Abb. 55. Schalterabzweig und senkrechte Schalterleitung an einer Türverkleidung.

Ende ebenfalls ein. Dann werden die Rohrschellen nach und nach unter fortwährendem genauen Ausrichten des Rohrdrahtes nach der betreffenden Frieskante oder dergl. angezogen (Abb. 53). Die Schellen sollen dichter sitzen als bei Isolierrohr; im allgemeinen wird man etwa alle 50 cm eine Schelle setzen. Etwa 5 cm von Mitte Abzweigdose oder Schalter entfernt, also etwa 3 cm vom Mantelende, sitzt die letzte Schelle.

Die Abzweigdosen werden nur mit einer Schraube, die einfachen Durchgangsdosen gar nicht befestigt. Sie werden also im wesentlichen durch den Rohrdraht gehalten, dessen Mantel ja auch noch in diese hineingehen muß. Bei Schaltern, Steckvorrichtungen u. dergl. kann man das nicht immer durchführen, wenn man eine genügende Länge abisolierten Drahtes zur Verfügung haben und einen reichlichen Abstand zwischen blankem Draht und Blechkante des Mantels bekommen will. Hier verwendet man Mantel-Endtüllen, die denjenigen für Isolierrohr entsprechen, aber kein Porzellan enthalten, also lediglich dem Metallmantel einen abgerundeten und genau passenden Abschluß geben sollen.

Rohrdraht mit Stromleitung des Mantels.

Der Rohrdraht hat in allen Leitungsnetzen, welche einen geerdeten Nulleiter enthalten, besondere Bedeutung dadurch gewonnen, daß sein Mantel zur Führung des Nulleiterstromes benutzt wurde. Dieses System machte jedoch bei der Montage insofern größere Schwierigkeiten, als an Abzweig- oder Verbindungsdosen die einzelnen Rohrdrahtstücke leitend untereinander verbunden werden mußten. Da diese Verbindungsstellen vielfach zu Störungen Veranlassung gaben, wird in neuerer Zeit in derartigen Anlagen Rohrdraht nach Abb. 56 verwendet, bei welchem einer der Leiter als blanker Draht an den Mantel anliegend enthalten ist. Dieser blanke Draht bildet dann zusammen mit dem Mantel innerhalb

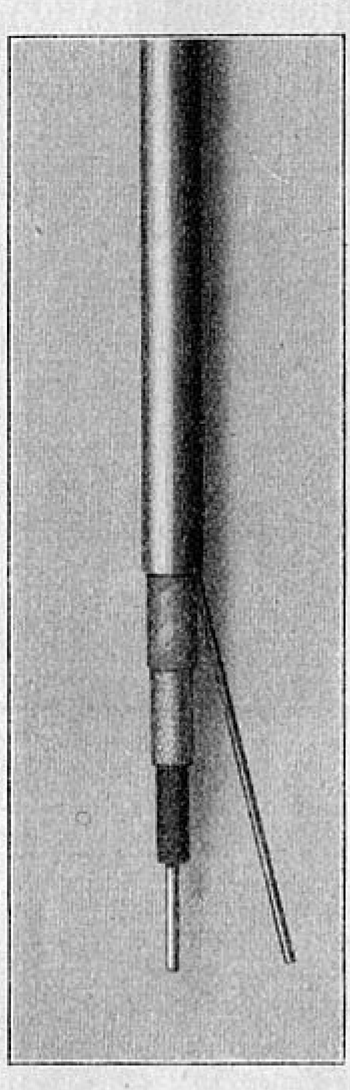


Abb. 56. K 1234
Einaderiger Rohrdraht mit eingelegtem Nulleiter.

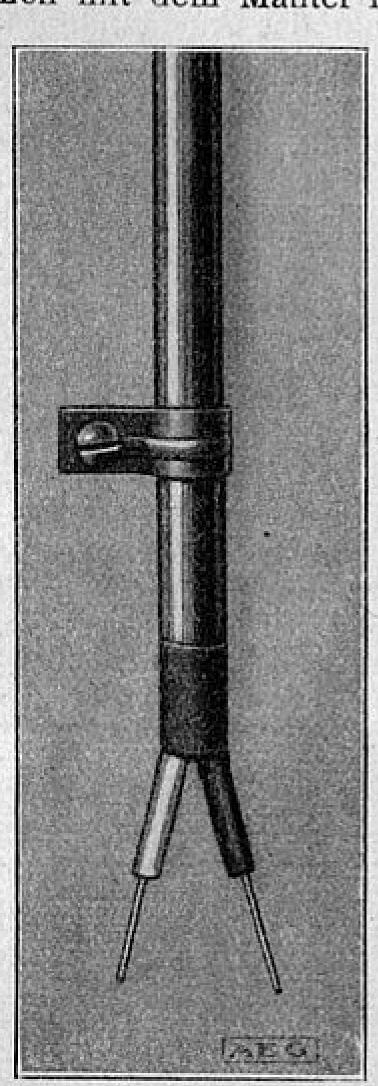


Abb. 57. K 1235
Ende des Rohrdrahtes am Schalter.

der ganzen Installation den Nulleiter, und ist in Durchgangs- und Abzweigdosen wie die isolierten Leiter mittels der Klemmen zu verbinden. Im übrigen erfolgt die Verlegung des Drahtes mit blankem Nulleiter genau wie die eines normalen Rohrdrahtes.

Für Umschaltleitungen und dergleichen sind diese Rohrdrähte mit einer blanken und zwei isolierten Adern versehen, während alle Schalterleitungen nur mit isolierten Adern auszuführen sind. Da die Schalter stets im Außenleiter liegen müssen, also nicht im Nulleiter angebracht sein dürfen, braucht der Nulleiter gar nicht zum Schalter geführt zu werden, aber der Außenleiter muß als Hin- und Rückleitung zum Schalter gehen (Abb. 57).

Verlegung von Stahlpanzerrohr.

Stahlpanzerrohr wird offen auf Wänden, Decken, an Maschinen, Kranen usw. verlegt, wo es als fester Schutz gegen Beschädigung der Leitungsdrähte dienen soll. Selten wird hierbei auch auf die Wasserdichtigkeit der Rohrverbindungen Wert gelegt. Wird das Stahlpanzerrohr dagegen in den Wänden, also unter Putz, oder als Deckenübergang in den Fußboden verlegt, so verlangt man vor allem einen dichten Abschluß gegen die Umgebung.

Die Verarbeitung des Rohres ist in allen Fällen gleichartig, soweit es sich um das Aneinandersetzen der Einzelrohre und das Anpassen an die Verlegungsstelle handelt. Die 3 m langen Rohre, welche an beiden Enden Gewinde besitzen, müssen, soweit nicht eine volle Länge gebraucht werden kann, auf Länge zugeschnitten werden. Dies geschieht im Rohr-



Abb. 58. K 1236

Ein leicht zusammenlegbarer, aber feststehender Rohrschraubstock ist für die Verarbeitung von Stahlpanzerrohr am besten.



Abb. 59. K 1237
Brechen der Rohrkante.

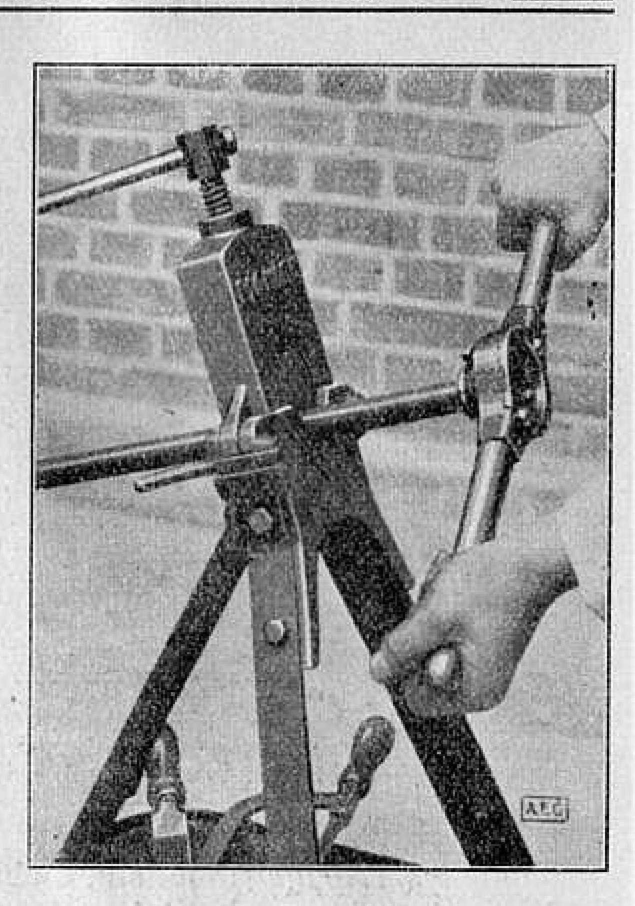
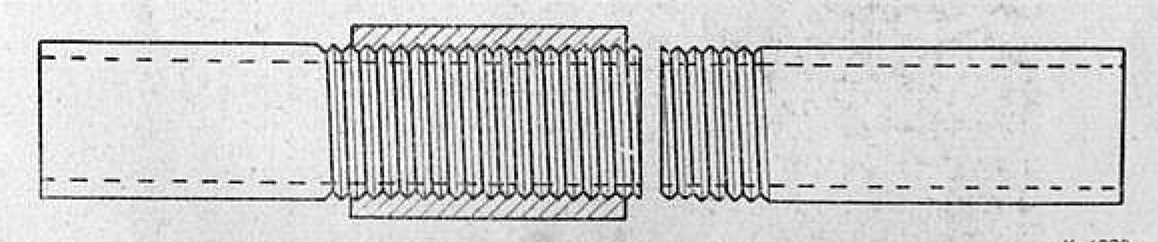


Abb. 60. K 1238
Aufschneiden des Gewindes.

schraubstock mit der Bogensäge (Abb. 58). Der in der Isolierauskleidung sich bildende Grat wird mit dem Montagemesser weggeschnitten, die äußere Metallkante mit der Feile etwas gebrochen (Abb. 59), um das Schneideisen zum Aufschneiden des Gewindes gut ansetzen zu können (Abb. 60). Die Länge des Gewindes muß in der Regel die halbe Muffenlänge sein. Lediglich an Stellen, an welchen von zwei Seiten aus fest verlegte Rohre durch ein Mittelstück geschlossen werden, muß ein



K 1239
Abb. 61. Langgewinde zur Verbindung von zwei festliegenden Rohren.

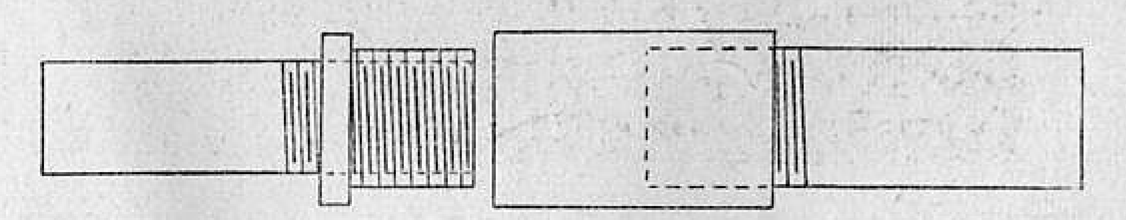


Abb. 62. K 1240
Anwendung von Reduktionsbuchsen zur Verbindung von zwei verschieden weiten Rohren.

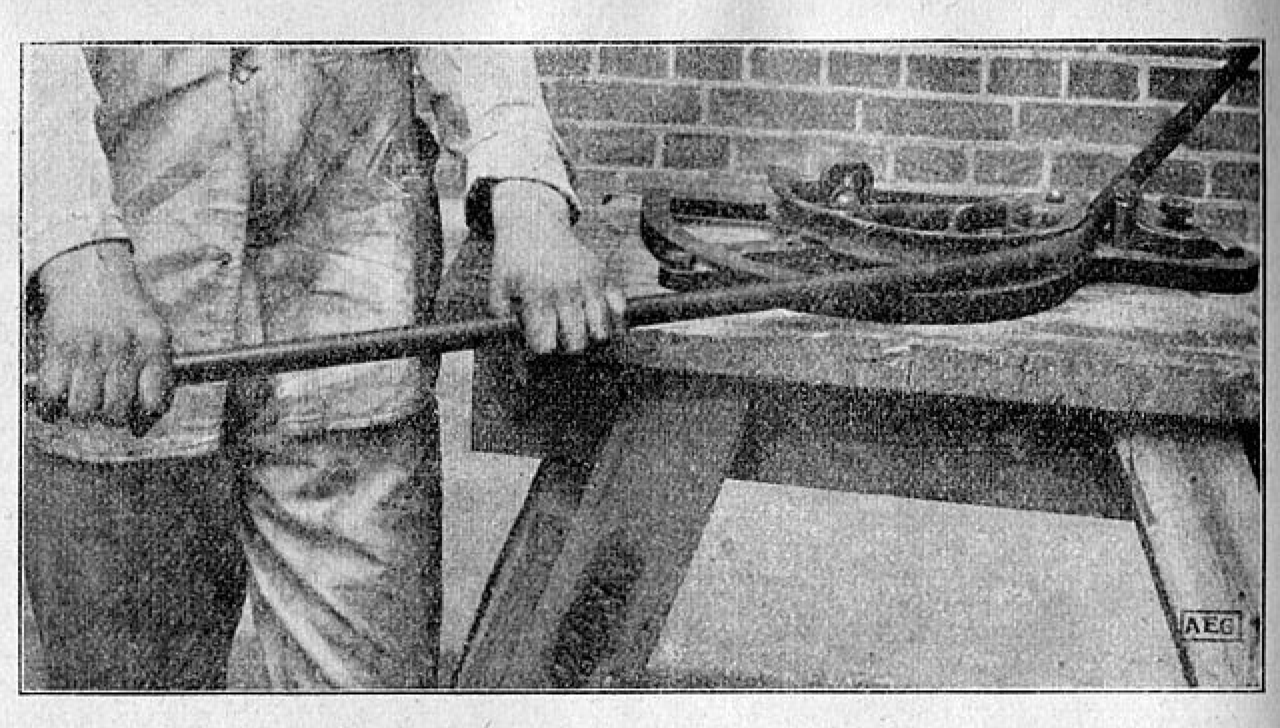


Abb. 63 Biegen von Stahlpanzerrohr auf dem Biegebock. K 1241

sogenanntes Langgewinde aufgeschnitten werden, um die Muffe in ihrer ganzen Länge auf ein Rohrende aufschrauben und nach Einlegen des schließenden Mittelstückes über dieses zurückschrauben zu können (Abb 61). Bei der Anpassung an Krümmungen ist man bei Stahlpanzerrohr in erster Linie auf das Biegen des Rohres angewiesen. Dies geschieht ohne Anwärmen in der Biegevorrichtung (Abb. 63) durch Ziehen an dem längeren Rohrende. Die Biegevorrichtung ist am besten auf einen Bock

Abb. 64. Stahlpanzerrohrverlegung an einer Maschine. K 1242

aufzuschrauben, der leicht standfest zu machen ist. Für jede Rohrweite sind besondere Formstücke zu verwenden. Wiederholt sich derselbe Bogen in einer Installation sehr häufig, so empfiehlt es sich, nach einem angepaßten Muster gleich die erforderliche Anzahl hintereinander herzustellen. Für derartige Fälle werden auch fertige Ellbogen geliefert, die aber dadurch wieder mehr Arbeit machen, daß zum Anschrauben ein Rohrende mit Gewinde versehen werden muß, was beim Biegen im Stück nicht nötig ist. Beim Uebergang von einer Rohrweite auf eine andere, wie dies z. B. bei Abzweigen an den Stutzen einer Dose vorkommt, werden Reduktionsmuffen verwendet. Diese haben außen das Gewinde des weiteren Rohres und innen dasjenige der Muffe des engeren Rohres (A. 62).

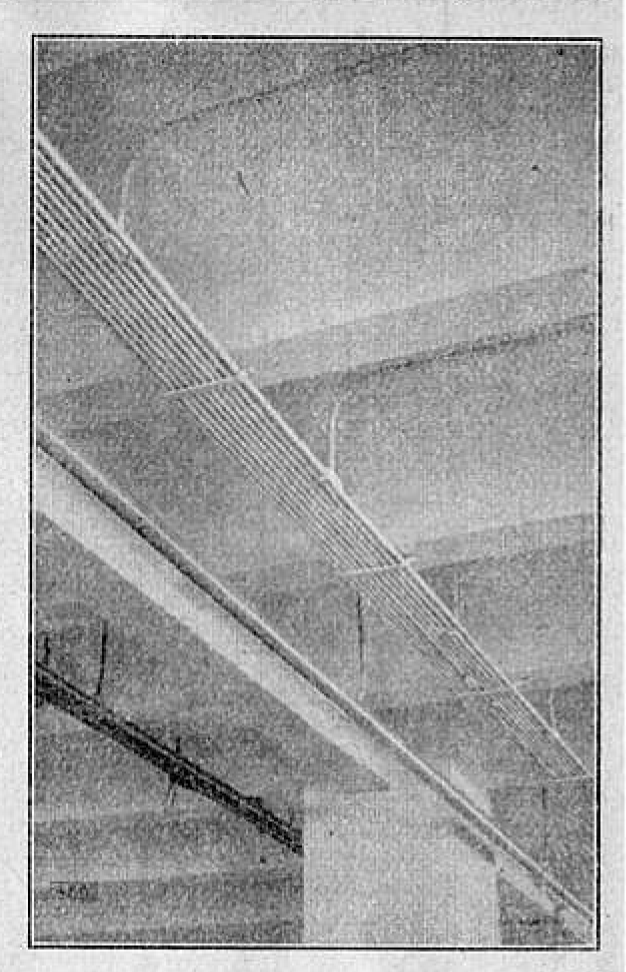


Abb. 65. K 1243
Freitragende Stahlpanzerrohre als Lichtinstallation an der Decke.

Bei Wechsel- und Drehstrom müssen die Leitungen aller Pole in einem gemeinsamen Rohr verlegt werden, da bei Verlegung je eines Drahtes in einem Rohr sich eine unzulässige Erwärmung des Rohres und dementsprechend auch ein bedeutender Leistungsverlust einstellen würde. Bedingen starke Leitungsquerschnitte

Abb. 66. Offene Verlegung in Gasrohr und Stahlpanzerrohr. K 1244

Abb. 67. Offene Verlegung von Bogenlampen-Leitungen in Stahlpanzerrohr K 1245

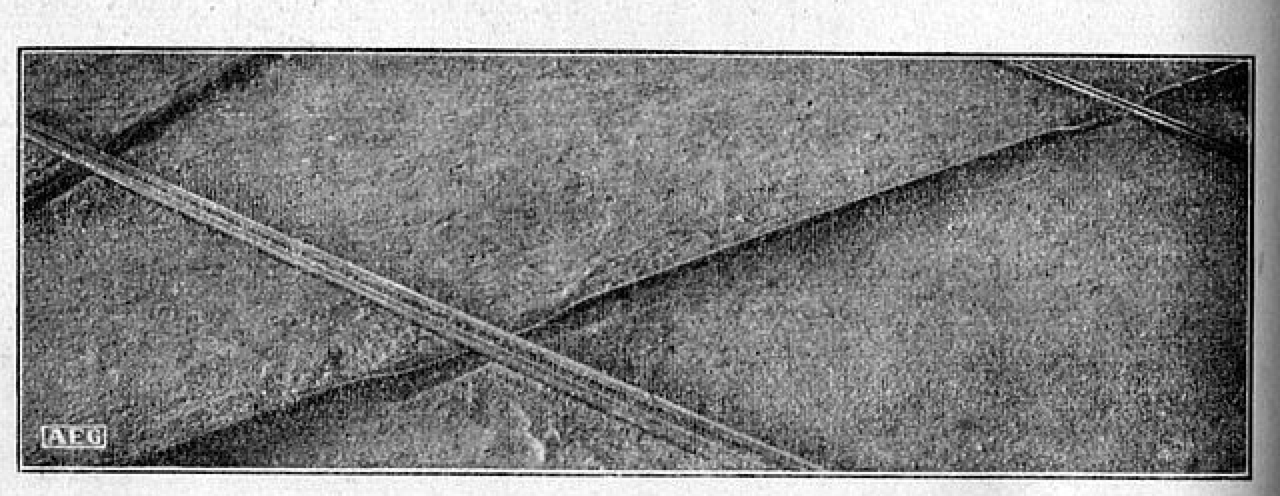


Abb. 68. Kreuzung von Stahlpanzerrohren auf der Betondecke. K 1246

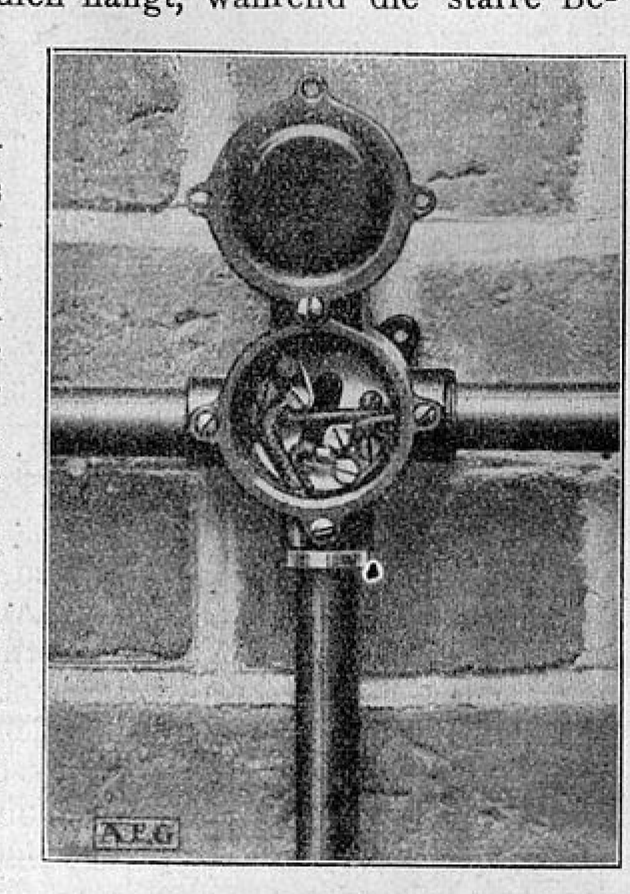
hierbei Rohrweiten, welche als Stahlpanzerrohre nicht mehr hergestellt werden, so nimmt man gewöhnliches Gasrohr und die entsprechenden Bogen und Formstücke, die man dann, wie Fig. 66 zeigt, verlegen kann.

Bei der offenen Verlegung geschieht das Vorzeichnen der Maurerarbeiten, das Einsetzen von Dübeln und Befestigungsvorrichtungen ebenso wie bei Isolierrohr mit Metallmantel. An Maschinen erfolgt die Befestigung der Schellen durch Einbohren von Gewindelöchern in die Maschinenkörper (Abb. 64). Bei Verlegung des Rohres an der Decke kann man von seiner Festigkeit noch durch freitragende Aufhängung Gebrauch machen, indem man es nach Art der Gas- und Wasserrohre nur in Bandeisenschlaufen hängt, während die starre Befestigung nur an den Abzweigkästen vorgenommen wird (Abb. 65).

Bei der Verlegung unter Putz ist zu unterscheiden zwischen der Verlegung in der Wand, wo es nur als nagelsicherer Ersatz für Gummi- oder Isolierrohr dient, und der Verlegung in der Decke. Bei ersterer Verwendungsart ist die Vorbereitung zur Verlegung, das Vorzeichnen, Stemmen der Kanäle, ebenso wie bei der gewöhnlichen Isolierrohrverarbeitung auszuführen. Dabei macht das genau ebene und bündige Einsetzen der Abzweigdosen und Schaltergehäuse oft Schwierigkeiten. Es empfiehlt sich daher, gleich im Anschluß an die Verlegung um die Dosen herum einen Kranz putzen zu lassen, der bei kleinen Ungenauigkeiten allmählichen Uebergang auf die Wandflächen gestattet.

Bei der Verlegung in der Decke, also unter dem Fußboden des oberen Stockwerkes, handelt es sich zunächst nur um den einfachen Deckenübergang in Beleuchtungsanlagen, das ist das Verbindungsrohr zwischen dem Auslaß der Lampe und der nächstliegenden Wand. Dieser besteht in der Regel nur aus einem geraden Rohr und einem rechtwinkligen Krümmer an jedem Ende. Wie bei allen Verlegungen unter Putz sind insbesondere bei der Verlegung in der Decke die Muffen mit Mennige abzudichten, damit Wasser nicht von außen eindringen kann.

Bei weitergehender Verlegung der Stahlpanzerrohre in der Decke,



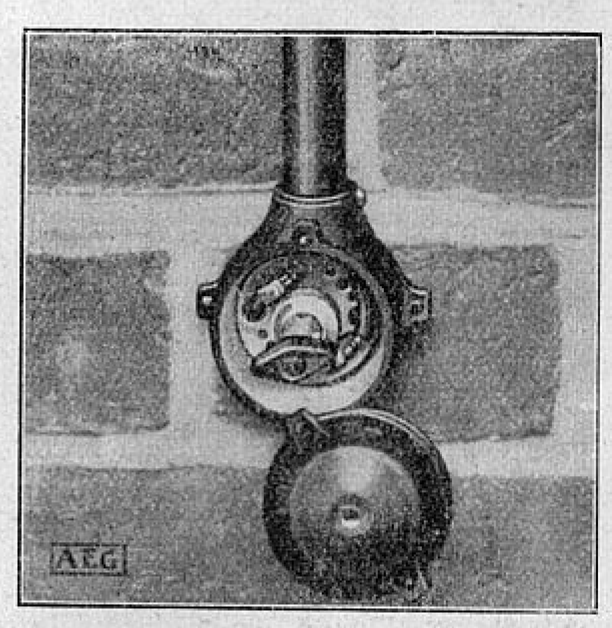


Abb. 69. K 1247
Fertig montierte Schalterleitung. An dem senkrechten Abzweig Reduktionsmuffe.

Abb. 70. Vorzeichnen des Deckendurchbruches durch Abschnüren. K 1248

also in Anlagen, in welchen Wände nicht zur Verfügung stehen, werden die Lichtauslässe gleichzeitig als Abzweigstellen verwendet. Diese Verlegungsart wird in Warenhäusern, Bureaugebäuden und dergleichen angewendet. Hier werden zunächst die Deckendurchbrüche an den Punkten vorgezeichnet, an welchen die Beleuchtungskörper später hängen sollen. In der Regel geschieht dies durch „Abschnüren", indem man sich nach der Einteilung der Decke richtet (Abb. 70). Nachdem von unten durchgestemmt ist, kann auf der Decke mit

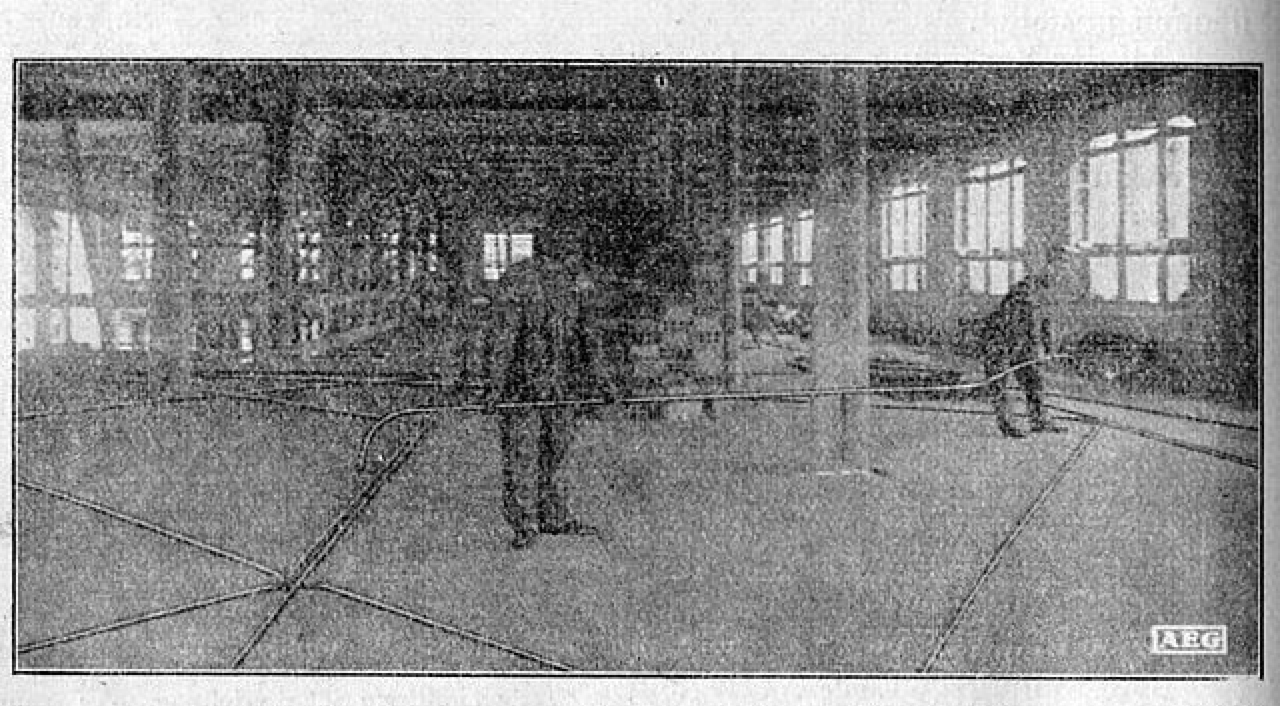


Abb. 71. Verlegen von Stahlpanzerrohren auf der Decke. K 1249

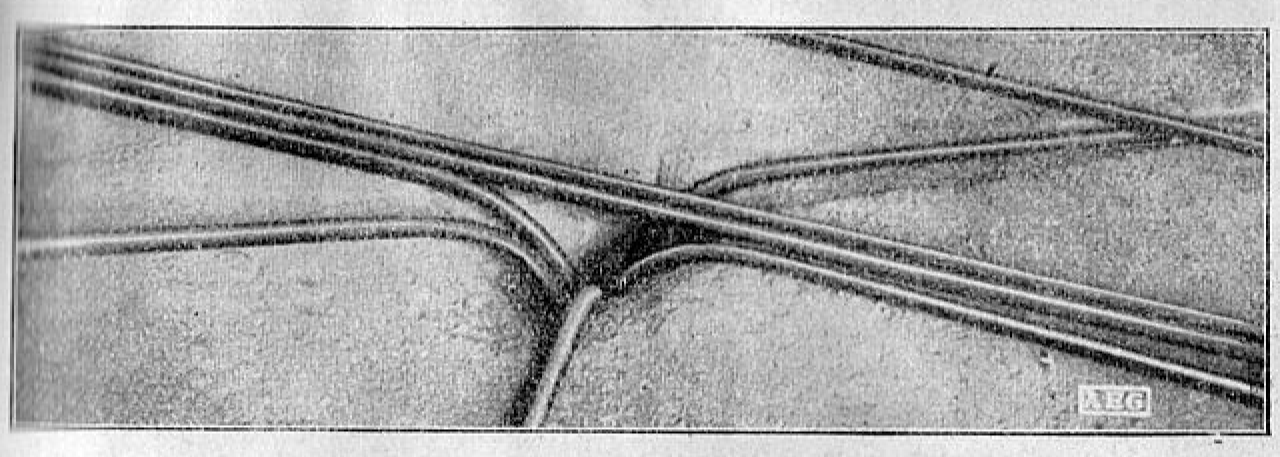
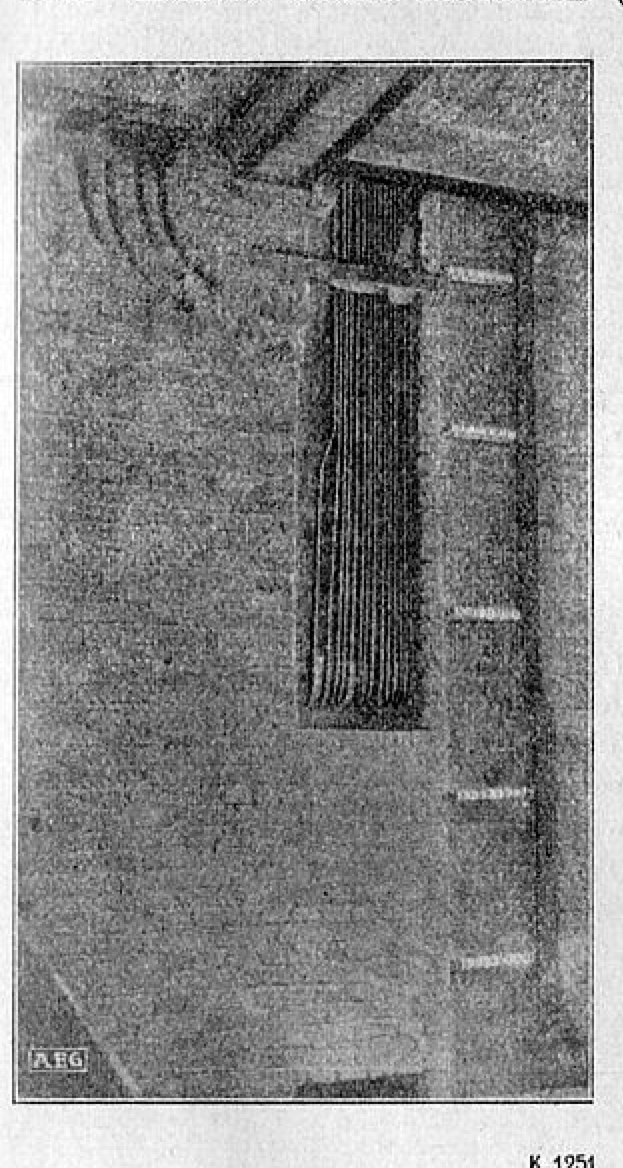


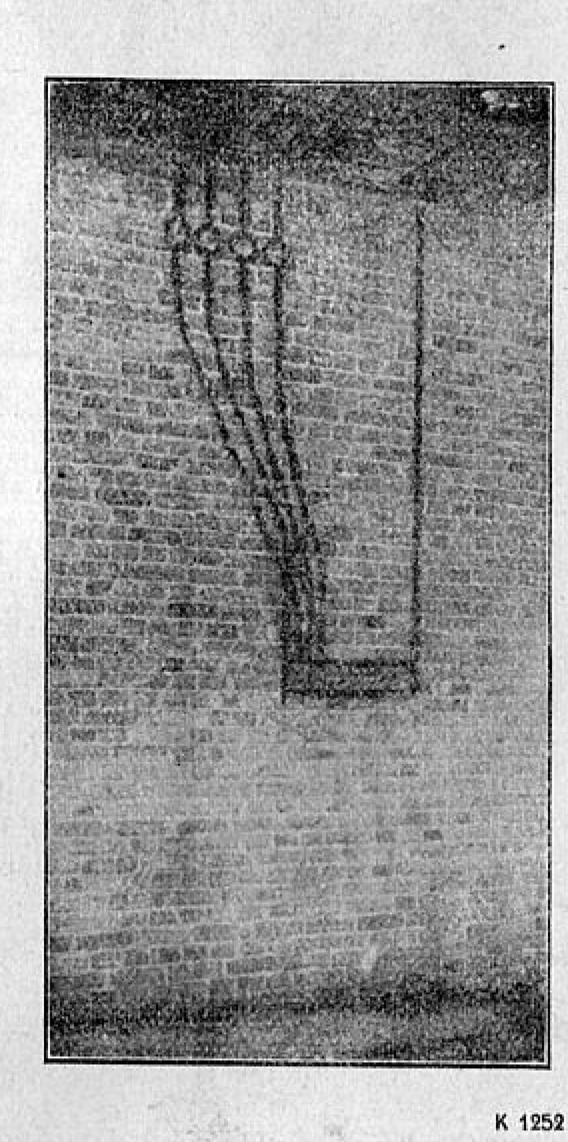
Abb. 72 Stahlpanzerrohre über einem Deckendurchbruch. K 1250

der Rohrverlegung begonnen werden. Die von Lampe zu Lampe laufenden Rohre werden zugepaßt und lose auf die Decke gelegt (Abb. 71). Bei Kreuzungen müssen geringe Kröpfungen gemacht werden, die nach unten gerichtet sind, damit die Rohre nicht mehr als eine Rohrstärke auftragen (Abb. 68). An den Auslässen für die Lampen laufen dann mehrere Rohre zusammen (Abb. 72). Schließlich sammeln sich



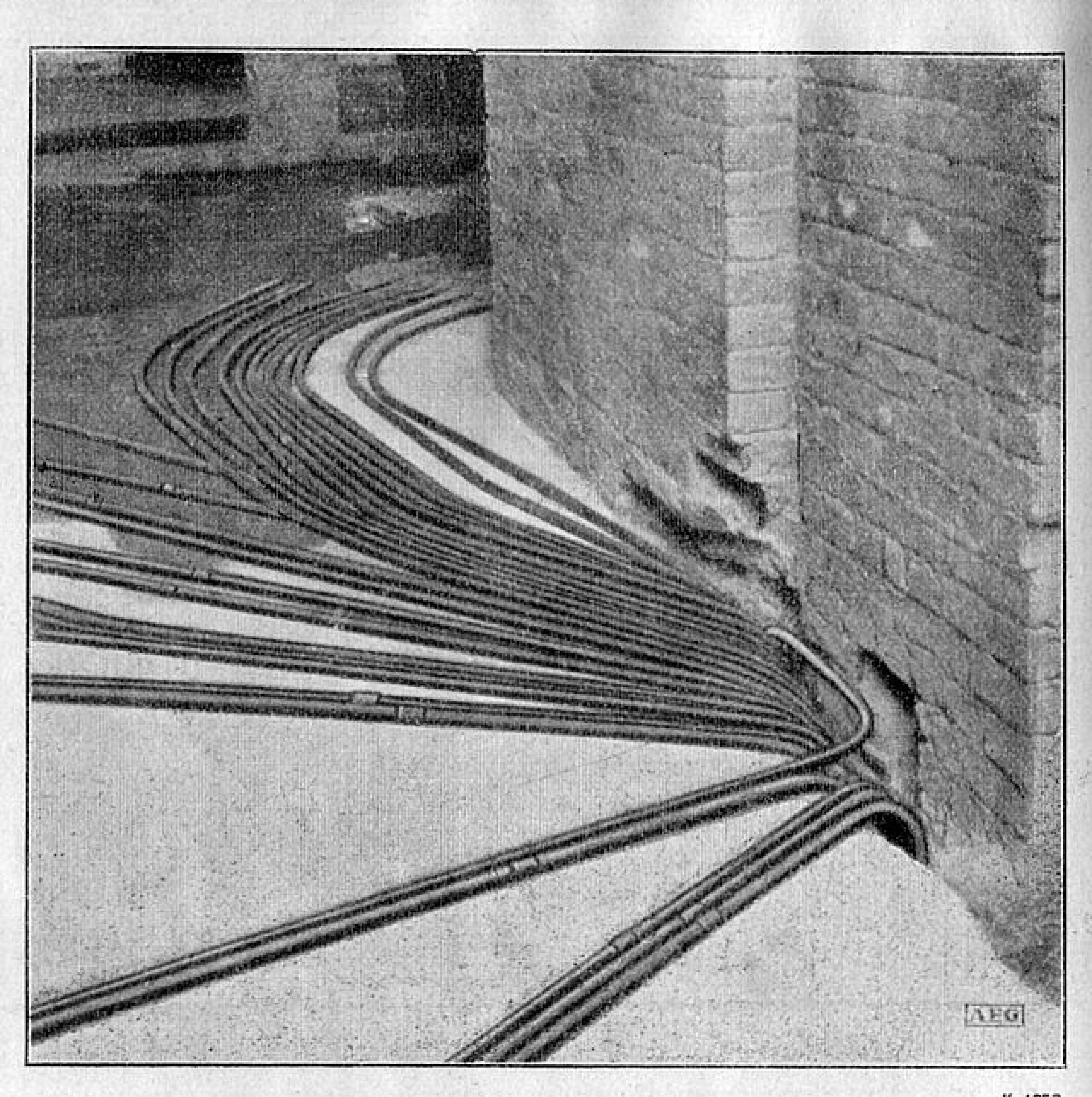
K 1251

Abb. 73. Herunterführung der Stahlpanzerrohre zur Verteilungszentrale in der ausgestemmten Mauernische.



K 1252

Abb. 74. Vorgezeichneter Verlauf der auszustemmenden Kanäle und Nischen



K 1253

Abb. 75. Die Rohre sammeln sich zur Herunterführung über der Verteilungszentrale.

alle Rohre an den Verteilungsstellen (Abb. 75). Da diese aber in demjenigen Stockwerk liegen müssen, welches von den zugehörigen Lampen beleuchtet wird, so müssen die Rohre nach unten geführt werden (Abb. 73). Die Verteilungsstelle, welche auf der allein verfügbaren Treppenhauswand zu sitzen pflegt, wird hierzu durch eine Rohrnische mit der Decke verbunden, die, wenn nicht vorher schon ausgespart, vorgezeichnet (Abb. 74) und danach ausgestemmt werden muß.

Verlegung von Kabeln.

Im Freien erfolgt die Verlegung von Kabeln unmittelbar in der Erde. Hierfür werden Kabelgräben (Abb. 76) von etwa 70 cm Tiefe ausgehoben, welche bei 1—3 Niederspannungskabeln etwa eine Spatenbreite haben sollen. Das Kabel soll möglichst in Sand gebettet werden. Man kann bei zahlreichen Kabeln auch zwei, höchstens drei Lagen von Kabeln übereinanderlegen. Hierbei empfiehlt es sich, auf jede Lage Kabel eine Sandschicht zu schütten. Auf die eingelegten Kabel wird vielfach eine Schicht Ziegelsteine gelegt, damit man bei späteren Erdarbeiten nicht unvermutet auf die Kabel trifft und diese beschädigt.

In Gebäuden werden für wagerecht verlaufende Kabel vielfach gemauerte Kanäle, meist im Kellerfußboden hergerichtet, welche mit eisernen oder aus Beton hergestellten Abdeckplatten zugedeckt werden (Abb. 81 und 82). Für die Kanäle genügt in der Regel eine Tiefe von 30 cm. Die Breite richtet sich nach Anzahl und Stärke der Kabel, sollte aber schon mit Rücksicht auf Verbindungs- und Abzweigmuffen nicht unter 30 cm betragen.

Soweit die Kabel an Wänden oder Decken verlegt werden müssen, sind eiserne Kabelträger notwendig. Wagerecht an der Wand verlaufende Kabel werden am einfachsten in hakenförmigen Flacheisen verlegt, die in Abständen von höchstens 80 cm angebracht werden (Abb. 78 und 79). Diese Verlegung (Abb. 77) ist meist nur an Wänden von Tunneln u. dgl. möglich, da die Kreuzung von Türen bei zahlreichen Kabeln meist Schwierigkeiten bereitet.

Für wagerecht an Decken verlaufende Kabel werden Eisenkonstruktionen nach Abb. 83 und 84 angeordnet. Die Konstruktion gestattet das Hochheben und Einlegen jedes einzelnen Kabels in die fertig montierten Eisenregister und eine bequeme Verschiebung einzelner Kabel. Für 1 bis 3 Kabel kann man entsprechend vereinfachte Formen wählen, die nur eine einzige Befestigung in der Decke verlangen.

Alle an Eisenkonstruktionen verlegten Kabel müssen nach der Verlegung mit dem Holzhammer gerade gerichtet werden.

Senkrecht an der Wand verlaufende Kabel, also Steigeleitungen u. dgl., müssen an allen Tragstellen festgeklemmt werden (Abb. 85). Bei



Abb. 76. K 1254
Auslegen eines Hochspannungs-Kabels in einen Kabelgraben.

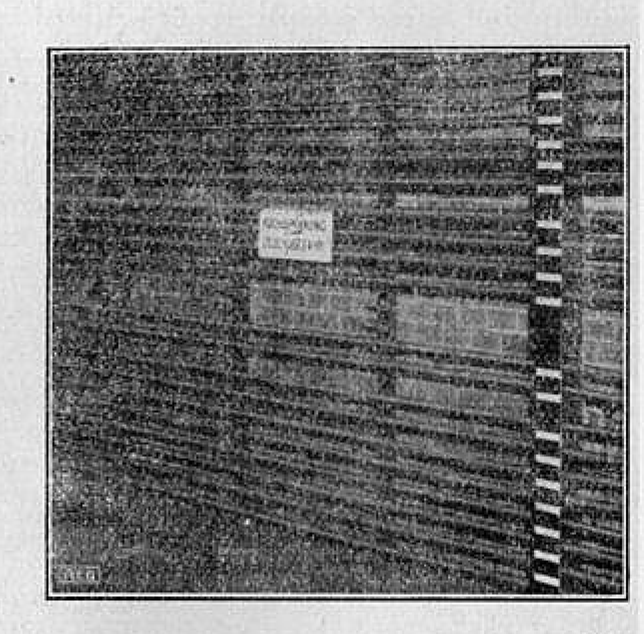


Abb. 77. K 1255
Kabel an der Wand eines Tunnels auf Hakenregistern. (Leiste mit Bezeichnungsschildern.)

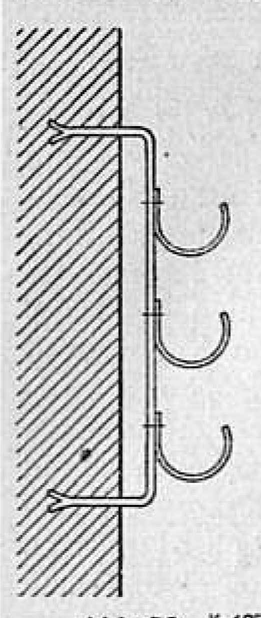


Abb. 78. K 1256
Hakenregister für mehrere Kabel.

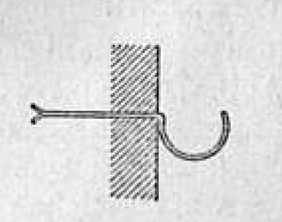


Abb. 79. K 1257
Einfacher Kabelträger.

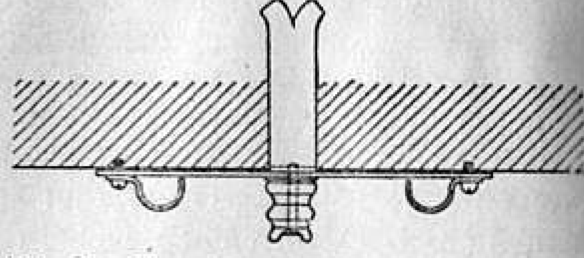


Abb. 80. Eisendübel für Gleichstrom-Dreileiteranlagen zur Aufnahme von zwei Einfachkabeln und einem Nulleiter auf Porzellanrolle. K 1258

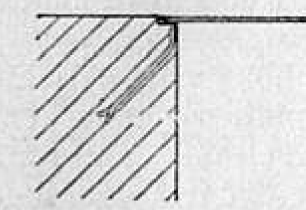


Abb. 81. Riffelblechabdeckung eines Kabelkanals. K 1259

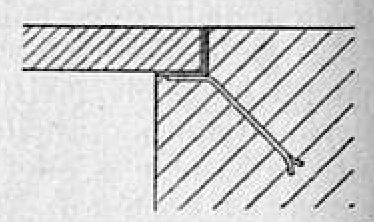


Abb. 82. Betonabdeckung eines Kabelkanals. K 1260

eisenbandarmierten Kabeln können die Schellen, wenn sie gut passen aus Eisen sein. Man muß aber dafür sorgen, daß sie auf dem Umfang gleichmäßig aufliegen und nicht zum Eindrücken des Bleimantels führen. Deshalb werden hierfür oft Holzklemmen verwendet oder in die Eisenschellen Holzeinlagen gelegt.

Bei Wand- und Deckendurchgängen, also auch beim Eintritt eines in der Erde verlegten Kabels in ein Gebäude, sollen die Kabel durch Rohre vom Mauerwerk getrennt bleiben. Dies ist auch zum bequemeren Ausziehen der Kabel zu empfehlen. Beim Durchgang durch Zwischenwände und besonders durch Decken ist es meist einfacher, eine entsprechende Oeffnung freizulassen und das Kabel frei durchzuführen. Ist ein dichter Abschluß zwischen zwei Räumen notwendig, so werden die Zwischenräume zwischen Rohr und Kabel durch Hanf, Teerstrick oder dgl. ausgefüllt.

Bei der Verarbeitung von Kabeln ist zunächst darauf zu achten, daß das Kabel nicht zu kalt ist. Bei weniger als + 7° C Wärme, also vor allem bei Frost, soll Kabel nicht gelegt werden. Innerhalb von Gebäuden läßt sich eine genügende Temperatur der Umgebung leicht erzielen. Im Freien ist die Verlegung bei Frost schon mit Rücksicht auf die Erdarbeiten meist nicht angängig. Dagegen sieht man häufig,

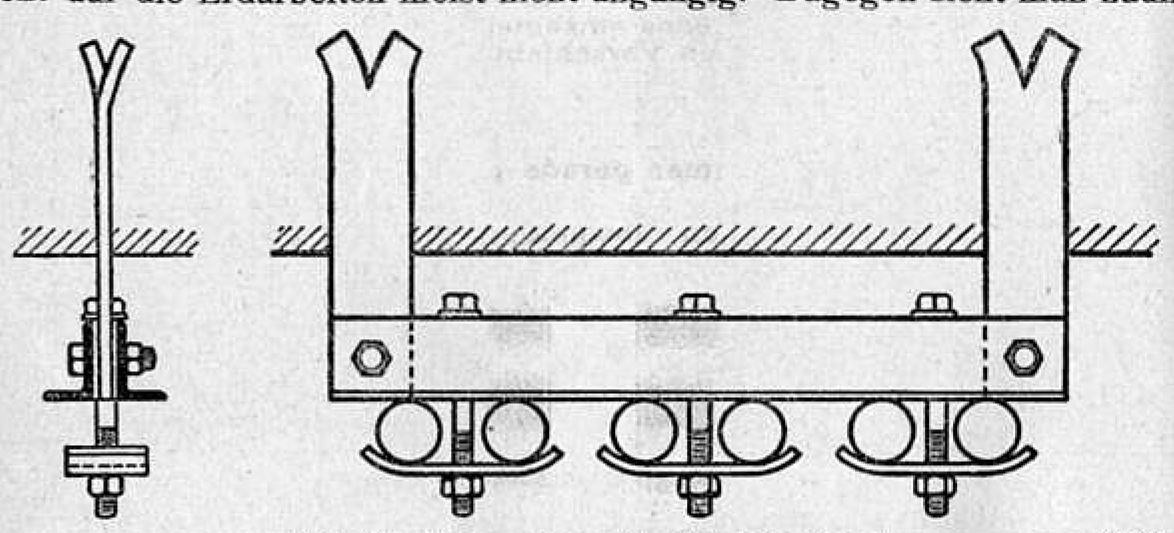


Abb. 83. Eisenregister für zahlreiche Kabel. K 1261
Bequemes Auflegen der einzelnen Kabel. Verschiebbare Kabelträger.

daß das Kabel im Freien in der Kälte gelagert hat, was an sich nichts schadet, dann aber sofort in Gebäuden im kalten Zustande verarbeitet wird. Das ist unzulässig, da dann die Isolation leicht bricht. Das Kabel soll vielmehr 12 Stunden vor der Verlegung in einem warmen Raum gelagert werden.

Das Kabel wird in der Regel auf Trommeln geliefert. Enger als die innerste Lage auf der Trommel soll das Kabel nicht aufgewickelt werden. Sowohl während der Verarbeitung als nach der fertigen Verlegung soll das Kabel nur im schlanken Bogen geführt werden. Bogen mit einem Radius von weniger als dem 15fachen der Kabelstärke sind unzulässig (Abb. 86). Zum Abrollen des Kabels sollen stets Windeböcke und Wellen verwendet werden (Abb. 76). Erstere kann man nötigenfalls bei leichten Kabeltrommeln durch leere Kisten mit vor die Welle genagelten Klötzen ersetzen. Kürzere Kabelenden, welche in Ringen geliefert sind, müssen auf dem Boden ausgerollt werden, so daß keine Verdrillung eintritt. Beim Auslegen eines Kabels darf dieses nie auf Zug beansprucht werden, es ist nur zu tragen, nicht durch Ziehen an einem Ende zu schleifen.

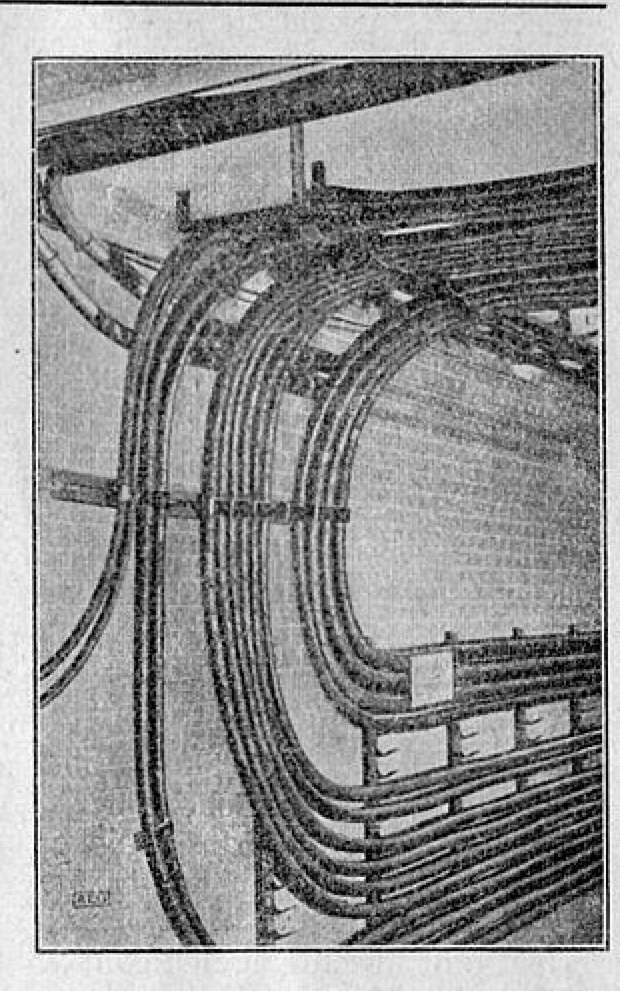
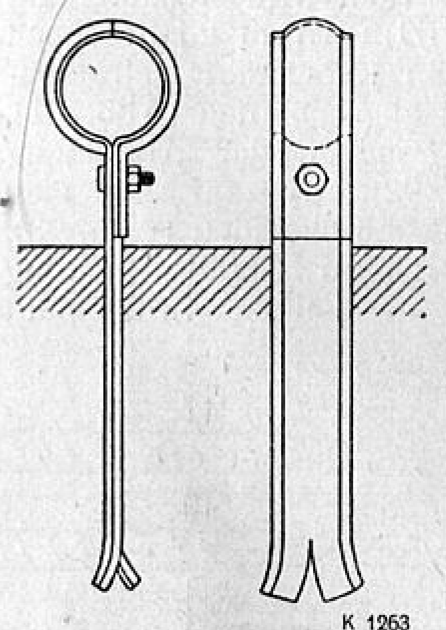


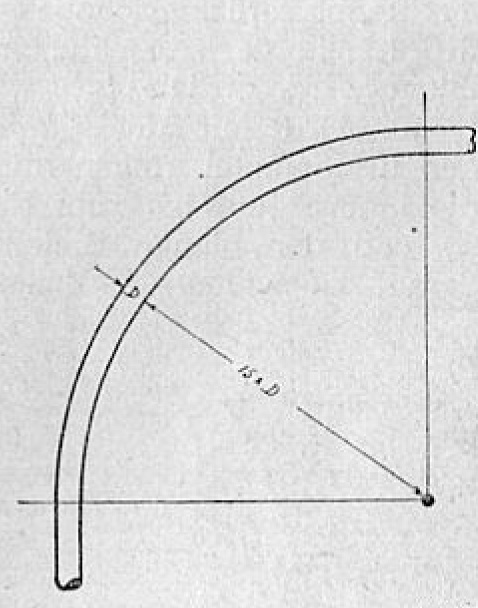
Abb. 84. Uebergang von Wand- auf Deckenverlegung. K 1262

Für die Ausführung von Reparaturen und Aenderungen an verlegten Kabeln ist es wichtig, sie zu erkennen. Um Kabel in der Erde, die man im Gegensatz zu solchen in Gebäuden in ihrem Verlauf nicht verfolgen kann, werden daher Kabelmarken, auch Polaritätszeichen genannt, gelegt



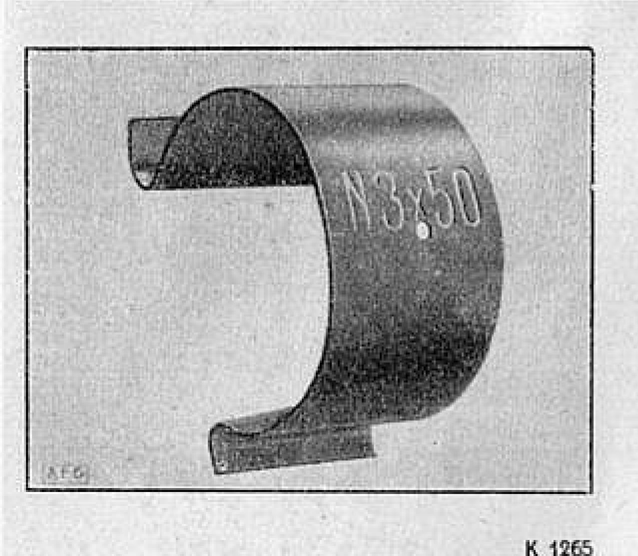
K 1263

Abb. 85. Fertig gepreßte Rohrschelle zur Aufnahme eines Kabels.



K 1264

Abb. 86. Engster Bogen für Kabel.



K 1265
Abb. 87. Kabelmarke (Polaritätszeichen).

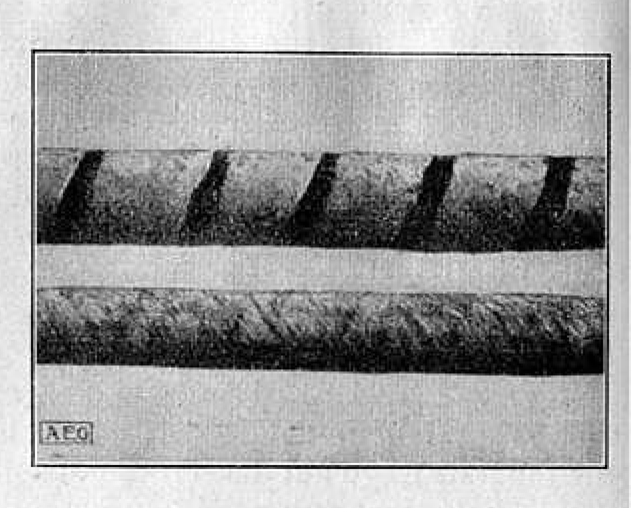


Abb. 88. Hochspannungskabel (oben) und Niederspannungskabel (unten). K 1266

(Abb. 87). Um in allen Fällen Hochspannungskabel unterscheiden zu können, erhalten diese in der Fabrikation eine besondere Umwicklung mit einem spiralförmigen Jutefaden (Abb. 88).

Die Bearbeitung der Kabelenden und Abzweigungen erfordert besondere Sorgfalt. Schon beim Abschneiden mit der Bogensäge vermeide man zu scharfes Knicken (Abb. 90). Bevor man den Schnitt ausführt, wird zu beiden Seiten die Jute mit Bindedraht abgebunden.

Wenn eins der beim Schnitt entstehenden Kabelenden nicht sogleich verlegt und durch Kabelendverschluß oder dergl. verschlossen wird, so muß es, damit keine Feuchtigkeit in das Kabel eindringt, eine Kappe aus Bleiblech erhalten, welches man meist von der Verarbeitung anderer Kabelenden zur Verfügung hat. Die Kappe muß die Stirnfläche luftdicht nach außen abschließen. Bei vorübergehender Aufbewahrung genügt ein sorgfältiger Verschluß mit Chatterton-Compound, auf den Gummiband und dann Isolierband gewickelt wird. Umwicklung mit Isolierband allein genügt nicht.

Um ein Kabelende für die Aufnahme eines Blech-Endverschlusses fertigzumachen, wird die äußere Jute in einer solchen Entfernung vom Ende mit Bindedraht abgebunden, die sich aus der Länge des Endverschlusses ergibt. Diese Länge ist größer als diejenige des Endverschlusses, damit, wie man weiter unten sehen wird, letzterer auf das Kabel zurückgeschoben werden kann (Abb. 89). Hinzu kommt noch die Länge der Anschlußenden, welche aus den Kabeladern selbst gebildet werden. Die Jute wird abgewickelt und abgeschnitten (Abb. 91). Dann wird mit der Dreikantfeile unmittelbar neben der Abbindung der Eisenmantel ringsherum durchgefeilt (Abb. 92). Hierauf kann man die innere Jute bis zum Ende des Eisenmantels abschneiden (Abb. 93), so daß der blanke Bleimantel freiliegt. Bei diesem Schnitt ist streng darauf zu achten, daß nie gegen das Kabel geschnitten wird, damit

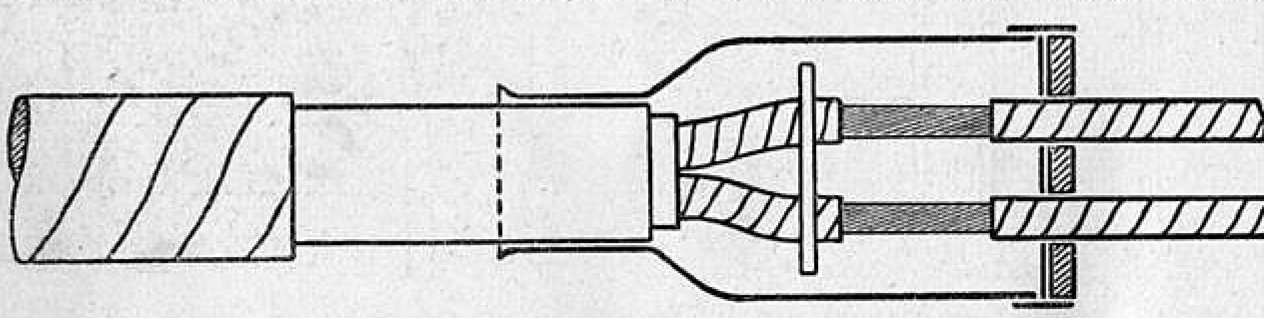


Abb. 89. Das Absetzen der Schichten bei Blechendverschlüssen. K 1267

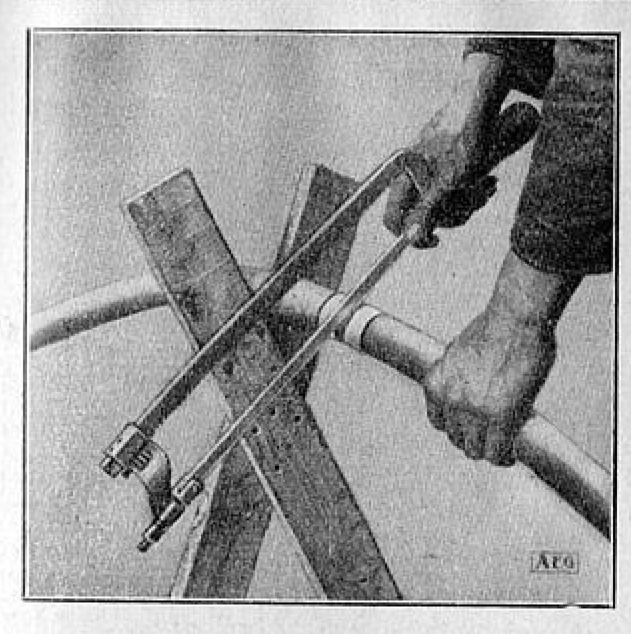


Abb. 90. Abschneiden des Kabels. K 1268
Nicht stark krümmen. Beide Seiten abbinden.



Abb. 91 K 1269
Entfernen der äußeren Jute.



Abb. 92. K 1270
Durchfeilen des Eisenmantels.



Abb. 93. Abschneiden der inneren Jute K 1271
Nicht gegen das Kabel zu schneiden.

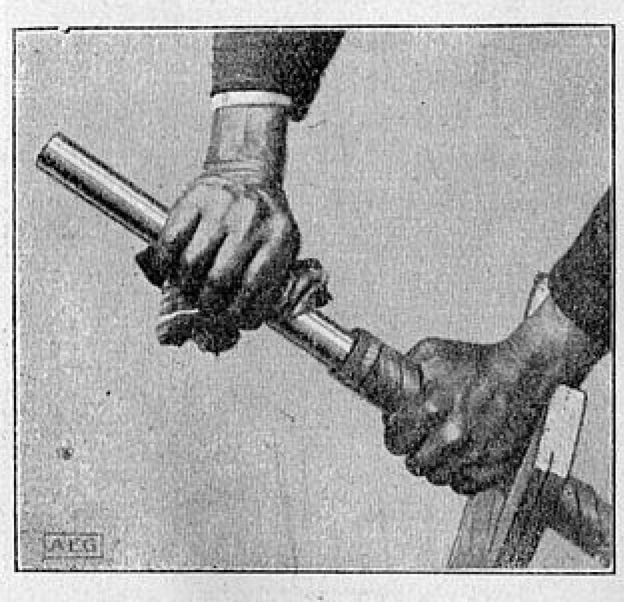


Abb. 94. 1272
Reinigen des Bleimantels mit Benzin.



Abb. 95. Aufschneiden des Bleimantels. K 1272
Messer flach (tangential) zur inneren Isolierung.



Abb. 96. K 1274
Abreißen des Bleimantels.



Abb. 97. Abreißen K 1275
der Papierisolation nach dem Abbinden.



Abb. 98. Abschneiden der Fülljute. K 1276
Nicht gegen das Kabel schneiden.

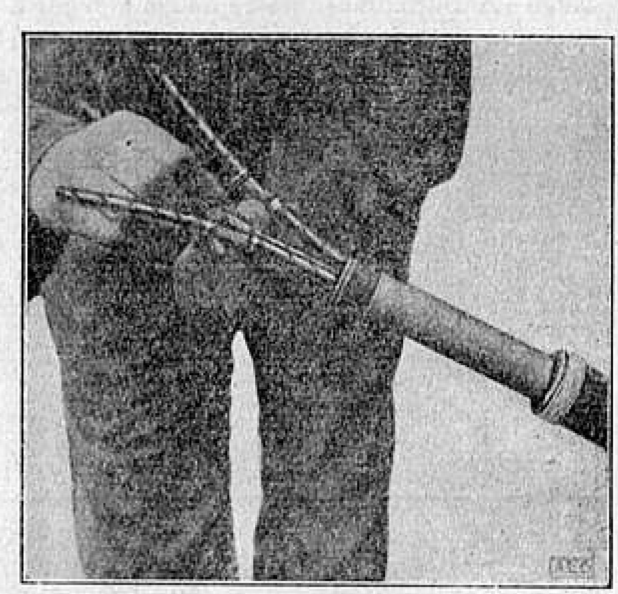


Abb. 99. K 1277
Das fertig abisolierte Kabelende.



Abb. 100. K 1278
Einführen des Deckels



Abb. 101. Dichten und Befestigen K 1279
des Endverschlusses auf dem Bleimantel.

der Bleimantel keinesfalls eingeschnitten oder verletzt wird. Dieser wird dann mit einem benzingetränkten Lappen gesäubert (Abb. 94). Nun muß der Bleimantel auf eine Länge vom Ende entfernt werden, die ebenfalls aus Abb. 89 zu entnehmen ist. Nachdem der Bleimantel ringsherum vorsichtig eingeschnitten ist, wobei aber keinesfalls bis auf die Kabelseele geschnitten werden darf, wird der Längsschnitt flach am



Abb. 102. Anwärmen der Vergußmasse auf einem Blechofen, welcher zur Verhütung der Feuersgefahr in einem Sandkasten steht. Vergießen eines Blechendverschlusses.

Kabel entlang (Abb. 95) geführt. Auch hierbei darf also das innere Kabel nicht beschädigt werden. Jetzt kann man den Bleimantel mit der Hand abreißen (Abb. 96). Kurz über dem Ende des Bleimantels wird das darunterliegende Baumwollband und die Papierisolation mit Bindfaden abgebunden und kann dann einfach mit der Hand abgerissen werden (Abb. 97). Nun folgt das Abschneiden der Fülljute, was ebenfalls nie gegen die Kabeladern geschehen darf (Abb. 98). Um das Kabelende fertigzumachen, ist jetzt nur noch die Kupferleitung der einzelnen Adern

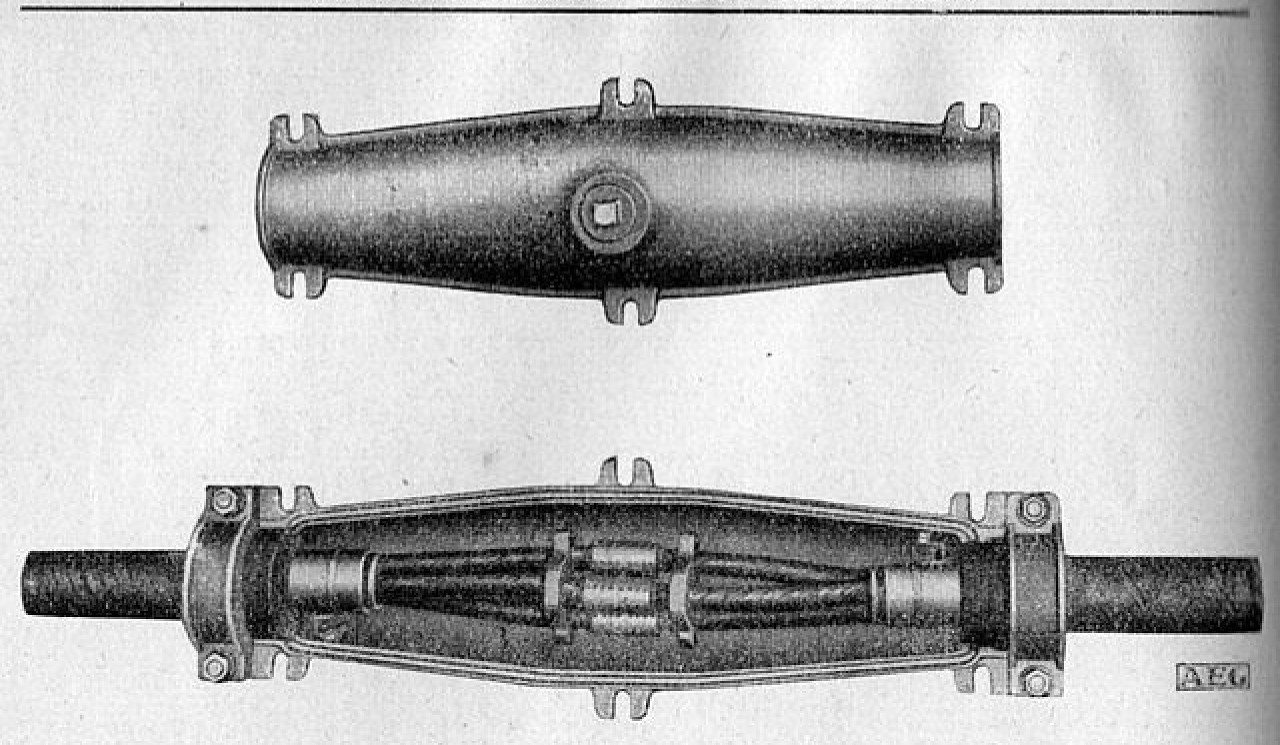


Abb. 103. Zum Vergießen fertige Verbindungsmuffe. K 1281

auf 40 mm von der Isolation zu befreien. Die Isolation ist aber hierzu vorher mit Bindfaden abzubinden (Abb. 99). Das Blechgehäuse des Endverschlusses wird jetzt aufgeschoben, das Distanzstück, auch Brille oder Stern genannt, aufgesetzt und die Kabeladern durch den Deckel des Endverschlusses hindurchgeführt (Abb. 100). Bevor man zum Vergießen schreitet, wird der Bleimantel dort, wo der Hals des Endverschlusses aufsitzen soll, zur Abdichtung mit Gummiband umwickelt. Der Endverschluß wird heruntergeschoben und durch Umwickeln des Halses und des Bleimantels mit Isolierband in seiner Lage festgehalten (Abb. 101). Zum Vergießen wird die Masse in einem Kessel, nicht in den Blechbüchsen, welche zum Versand dienen, gewärmt, bis sie gut flüssig ist, und dann der Endverschluß unter Anheben des Deckels langsam reichlich vollgegossen (Abb. 102). Hierbei dürfen sich keine Blasen bilden. Das Verschließen geschieht nach langsamer Erkaltung der Masse. Zum Schutz gegen Feuchtigkeit sind die herausgeführten Adern bis zum Kabelschuh mit Cellonband zu umwickeln.

Neben den Blechendverschlüssen kommen bei Niederspannungskabeln nur noch Tenacit-Endverschlüsse für den Uebergang auf Isolierrohrverlegung vor. Bei diesen wird in ganz ähnlicher Weise verfahren. In der Hauptsache ist stets auf das stufenweise Absetzen der einzelnen Schichten zu achten, insbesondere darauf, daß der Bleimantel genügenden Abstand von den blanken Enden der Kupferdrähte erhält.

Schließlich verbleiben noch die Verbindungs- und Abzweigmuffen, welche stets aus Gußeisen bestehen und zwar aus zwei durch Verschraubung verbundenen Hälften (Abb. 103). Die Vorbereitung der Kabelenden geschieht auch hier wie bei den Blechendverschlüssen unter Berücksichtigung der Längen der Gußeisenmuffen. Für die Dichtung des Muffenhalses wird Leinwand oder Teerpappe mitgeliefert. Vor dem Vergießen sind die Gußeisenteile mit der Lötlampe gleichmäßig anzuwärmen. Das Vergießen hat absatzweise zu geschehen, damit die Luft aus der Muffe entweichen kann. Die Eingußöffnung wird erst nach dem Erkalten geschlossen.

Montage gekapselter Apparate.

Die in Gußeisengehäusen eingeschlossenen, gekapselten Schaltapparate und Sicherungen finden in allen Werkstätten, Fabriken, in der Landwirtschaft, in Kellern, Kanälen, kurz an all den Stellen Anwendung, an denen mit roher Behandlung und ungeschultem Personal zu rechnen ist. Als Leitungen, die zu den Apparaten dieser Art führen, kommen daher nur Erdkabel und Stahlpanzerrohr in Frage, da alle anderen Leitungsarten selbst dieser erhöhten Beanspruchung nicht gewachsen wären.

Insbesondere für die Apparate größerer Stromstärken, den Schaltkästen, kommt fast nur Kabel für den Anschluß in Betracht. Die Bearbeitung des Kabelendes weicht in vielen Punkten so weit von derjenigen bei einem normalen Endverschluß ab, daß die wesentlichsten Sonderheiten hier angeführt werden müssen. Der einfachste Schaltkasten, der nur einen Schalthebel mit oder ohne Sicherungen oder einen automatischen Ausschalter enthält, besitzt bei Gleichstrom vier, bei Drehstrom sechs Klemmen, von denen die eine Hälfte zur Zuführung, die andere Hälfte zur Ableitung des Stromes bestimmt ist. Normal müssen also zwei Kabel an den Kasten angeschlossen werden, wozu demnach ein Doppelendverschluß nötig ist. Die Muttern der Verschlußbuchsen werden zuerst über das unbearbeitete Kabelende übergeschoben, dann folgt sofort das Gehäuse des Endverschlusses (Abb. 104), und nun erst kann die Bearbeitung des Kabels beginnen. Wie bei dem normalen Endverschluß erfolgt das Abbinden und Abschneiden der äußeren Jute, das Entfernen der Eisenbandarmierung und der inneren Jute, so daß das blanke Bleikabel freiliegt. Nun muß vor der Weiterarbeit die Verschlußbuchse übergeschoben werden, da diese am besten vor dem Oeffnen der einzelnen Adern aufgebracht wird (Abb. 105). Jetzt folgt das weitere Absetzen des Bleimantels, das Abbiegen der einzelnen Kabeladern und Blankmachen des Kabelendes. Bei letzterem ist darauf zu achten, daß die Isolierung so weit zurückgeschnitten wird, daß die später einzufüllende Vergußmasse die Stirnfläche der Isolierung noch bedeckt,

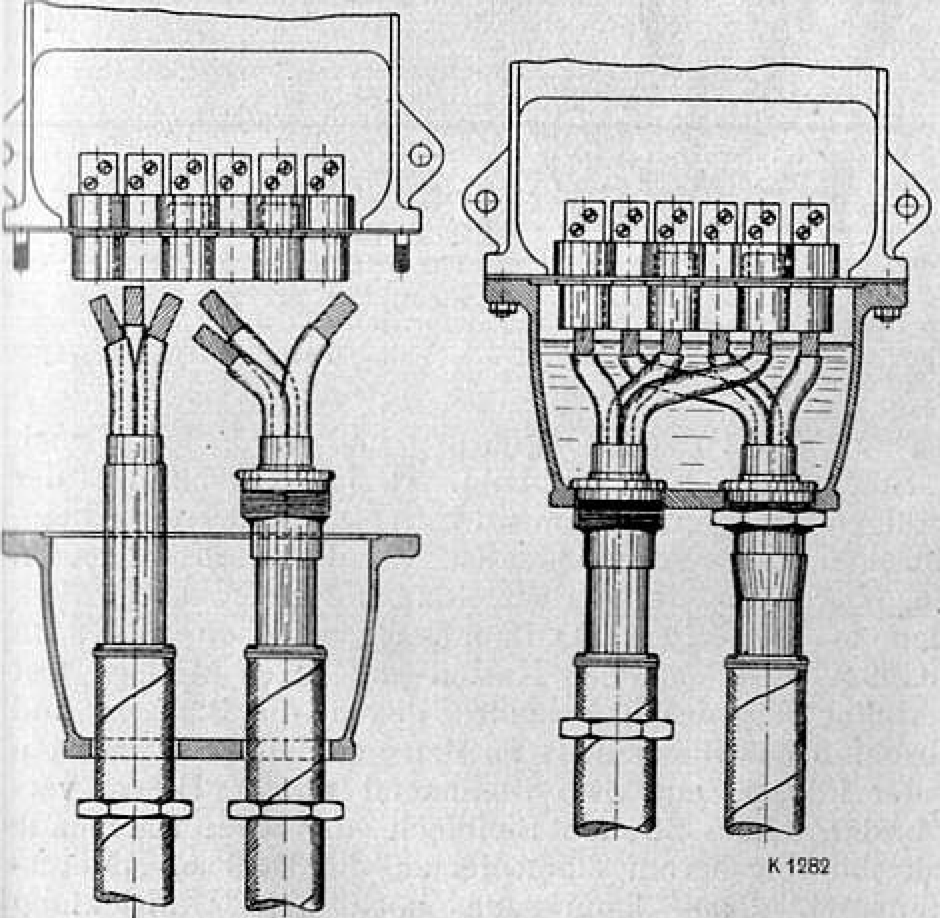


Abb. 104. Schnitt durch den Doppel-Kabelendverschluß eines Schaltkastens vor dem Anschluß der Leitungen (links) und nach dem Vergießen (rechts).

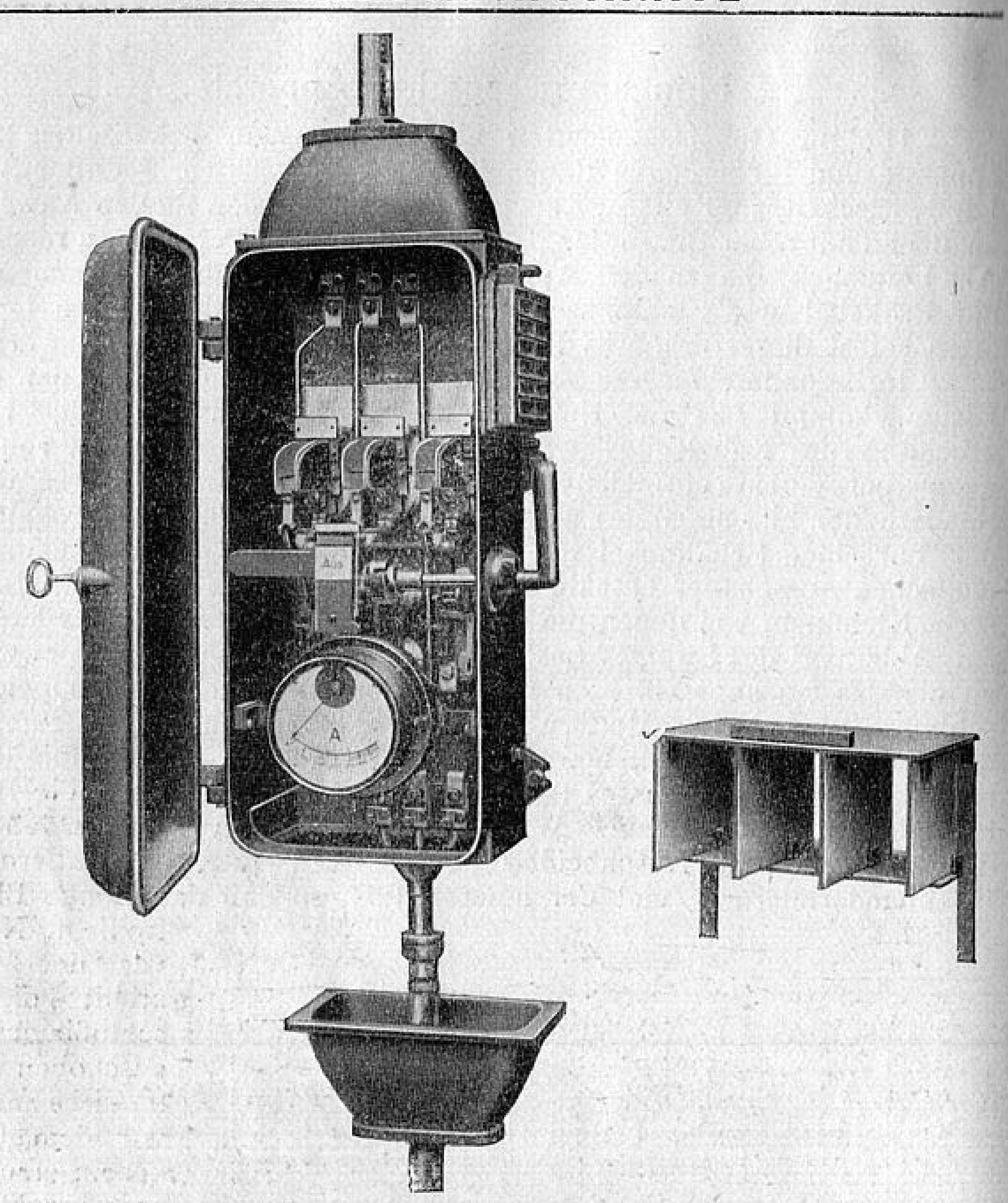


Abb. 105. K 1283
Schaltkasten mit dreipoligem Selbstschalter während der Montage des Endverschlusses.

also zwischen Unterkante der Porzellaneinführung und der Isolation noch ein angemessenes Stück Kupferseil freibleibt. Beim Anschließen der Kabel ist auf den richtigen Stromverlauf (Eintritt vorn oder hinten) zu achten, welcher bei den einzelnen Arten verschieden ist. Sind so die Kabelenden fertig angeschlossen, dann kann der Endverschluß hochgebracht werden. Die Buchsen werden in die unteren Oeffnungen geschoben und nach Anschrauben des Gußgehäuses an den Kasten mit ihren Muttern fest verschraubt. Zur Abdichtung des Kabelendes gegen die Buchsen und gleichzeitig zum Abschluß des Bleimantels an den geerdeten Schaltkasten ist die Verlötung der Buchse mit dem Bleimantel nötig. Hierzu verwendet man am besten einen Streifen Bleiblech, der vom Kabelende übrig ist, und lötet ihn ringsherum einerseits an die Buchse, andererseits an den Bleimantel. Man kann nun noch eine Umwicklung des Bleimantels mit Isolierband vornehmen. Jetzt erfolgt schließlich das Vergießen. In dem Boden des eigentlichen Schaltkastens, der die Anschlußklemmen trägt, befinden sich zwei mit Holzstöpseln ver-

schlossene Löcher. In eins derselben gießt man die Füllmasse mittels Trichter oder Gießrinne, während aus dem anderen die Luft entweichen kann. Nach dem Erkalten der Masse werden die Holzpfropfen wieder aufgesetzt.

Handelt es sich nicht nur um einen einfachen Schaltkasten, sondern um eine Vereinigung mehrerer Apparate durch Sammelschienenkästen, so kommen in der Regel Doppelendverschlüsse nicht in Frage. Die in einen Einfachendverschluß endigende Stromzuführung muß aber den Sammelschienenkasten zunächst kreuzen, um zu dem Hauptschalter zu gelangen (Abb. 107). Hierbei müssen jedoch die Anschlußleitungen isoliert bleiben; deshalb muß man die Original-Kabelader entsprechend lang frei machen, um sie bis in die Klemmen des Schaltkastens führen zu können. Hier ist also die Montage genau so zu machen wie bei einem gewöhnlichen Endverschluß. Die Kabeladern werden in die Schaltkastenklemmen eingeführt, und nach dem fertigen Anbringen des Endverschlusses erfolgt das Vergießen durch die Oeffnung im Boden des Sammelschienenkastens.

Die bis dahin leeren Sammelschienenkästen werden in der Weise montiert, daß zunächst die kurzen Abzweigenden der angeschlossenen

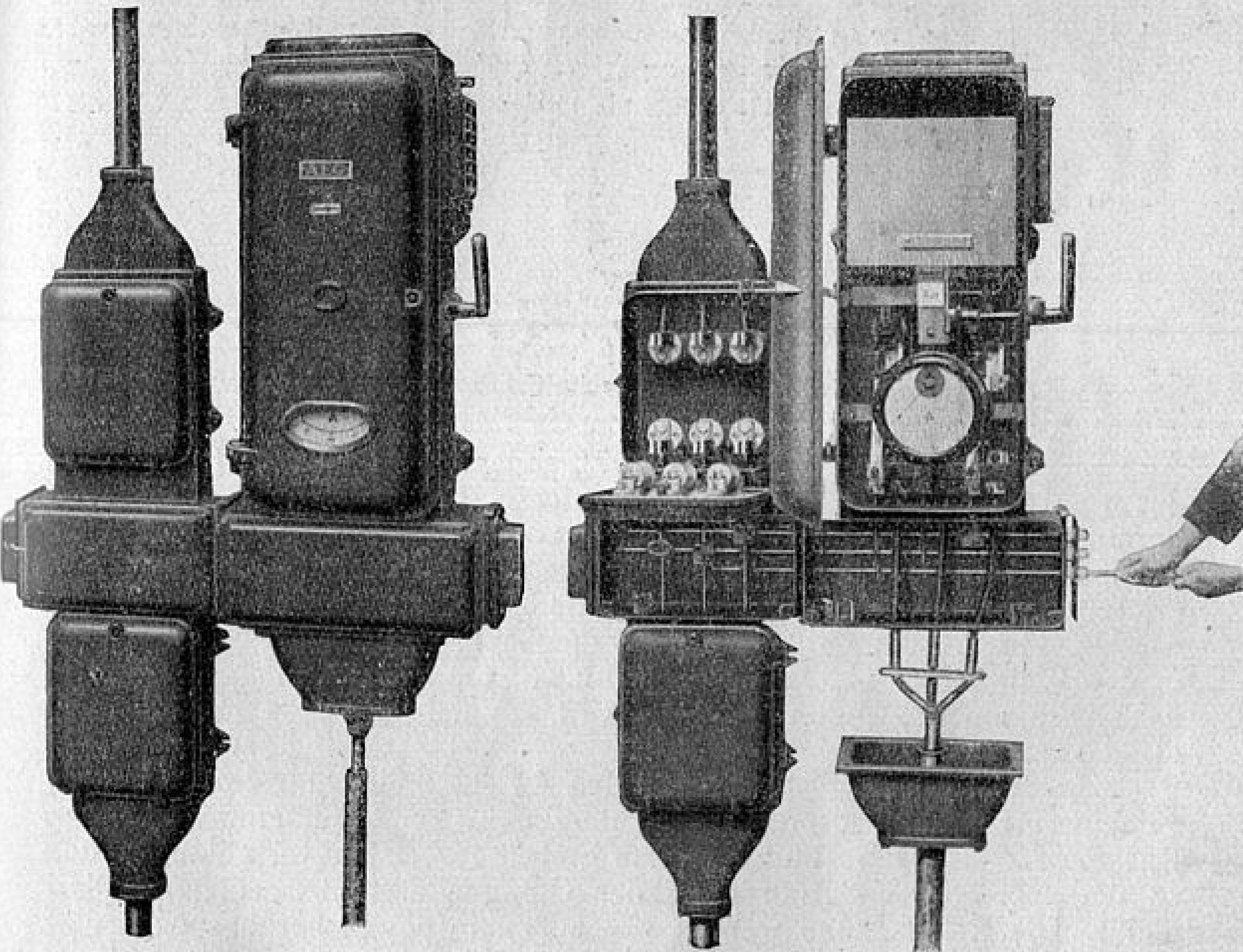


Abb. 106. K 1284 Abb. 107 K 1235

Verteilung, bestehend aus Selbstschalter als Hauptschalter und zwei dreipoligen Abzweigsicherungen.

Verteilung fertig montiert. Oben links Rohranschluß.

Zusammenbau der Sammelschienen und Abzweigstücke. Unten rechts fertig montierter, noch nicht vergossener Endverschluß der Stromzuführung.

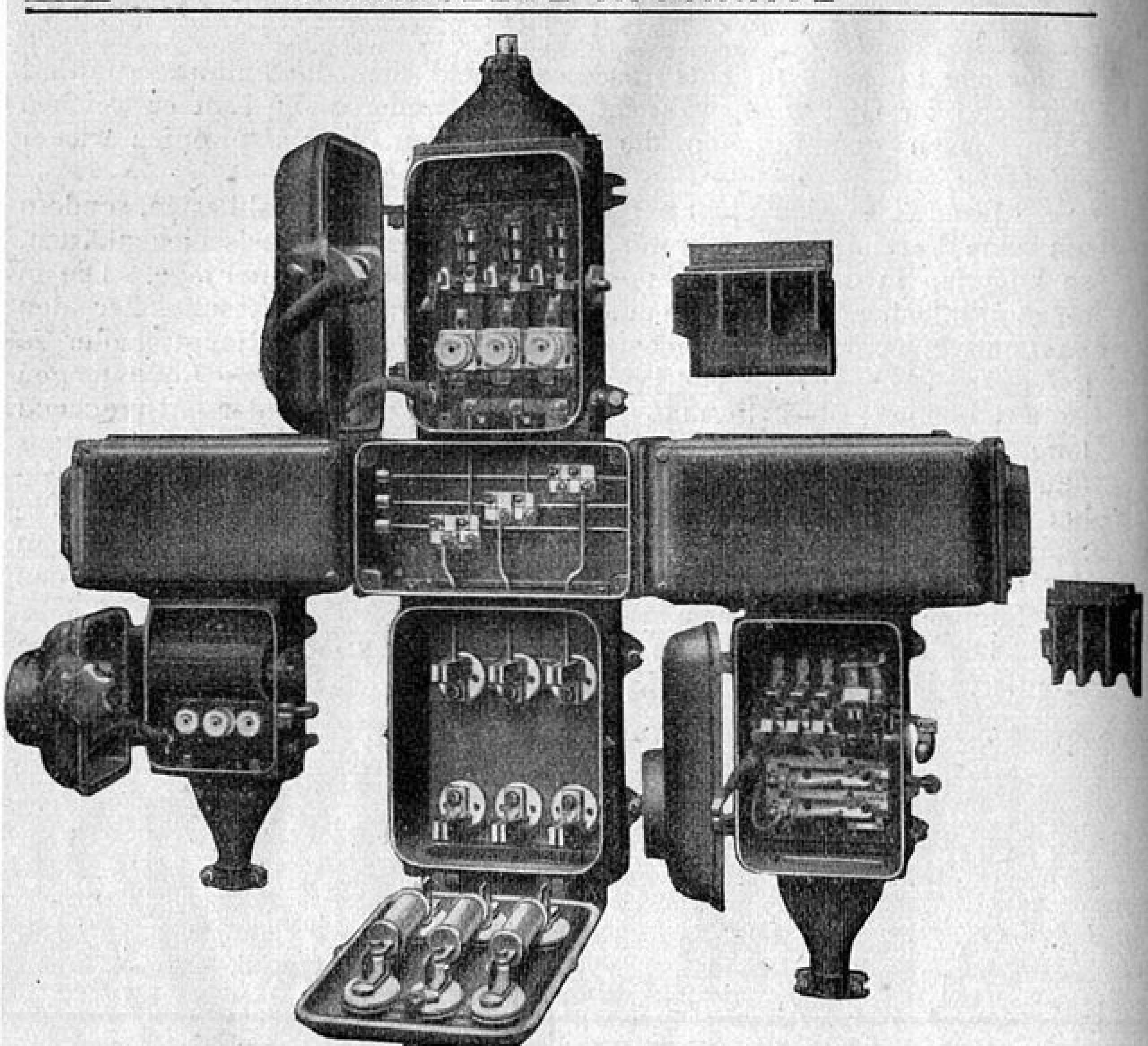


Abb. 108. Fertig montierte gekapselte Schaltanlage, geöffnet. K 1236

Apparate eingesetzt werden (Abb. 107), sodann folgt erst das Einschieben der runden Sammelschienenstangen, deren Enden an der Einführung durch Porzellantüllen in der Blechwand der Sammelschienenkästen getragen werden. Die Verbindung der Schienen mit den Abzweigen erfolgt dann durch geteilte Abzweigklemmen, die von vorn angezogen werden. Rechteckige Blechscheiben dienen hier als Schraubensicherung in der Weise, daß ein Ende nach hinten um die Klemme, das andere nach vorn um die Mutter gebogen wird, so daß die Mutter sich nicht lösen kann (Abb. 107).

Dieses Bild zeigt auch schon den Anschluß eines für drei Leitungen gemeinsamen Stahlpanzerrohres an der links oben sichtbaren Sicherung. Das Rohr endigt kurz hinter seinem Eintritt in den Endverschluß, so daß zu der fächerartigen Anordnung der Gummiaderdrähte genügend Platz bleibt. Die Kabelschuhe werden von außen in die Sicherungsböcke eingeführt und von innen verschraubt. Abb. 108 zeigt eine fertig montierte Verteilung, deren übersichtliche Anordnung in Verbindung mit geeigneten Aufschriften ohne weiteres zu erkennen ist.

Bei kleineren Schaltkästen, insbesondere bei Schalthebeln ohne Sicherung, Sicherungen allein und Steckvorrichtungen ist sowohl der Kabelendverschluß als auch die Rohranschlußarmatur anders geartet. Der

Abb. 109. K 1287 Abb. 110. K 1288

Hebelschalter für Drehstrom. Kabel fertig angeschlossen.

Geöffnet. Geschlossen.

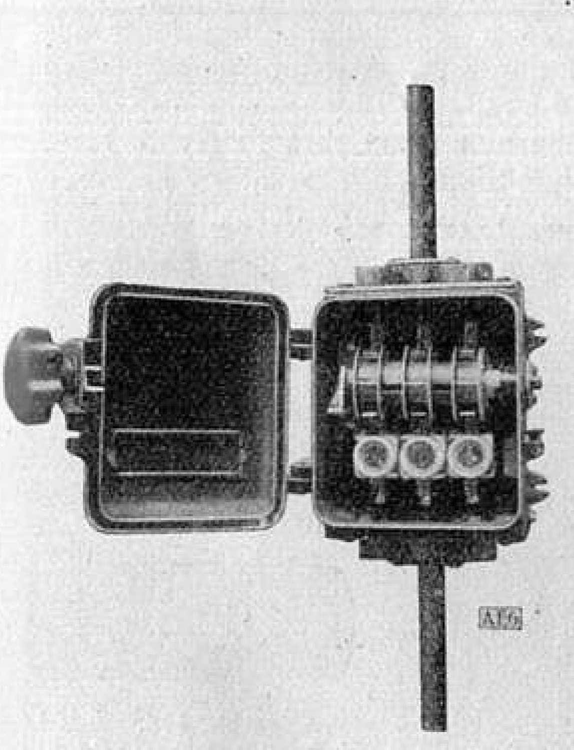


Abb. 111. K 1289

Kleiner Schaltkasten mit Sicherungen. Beiderseits mit Rohranschluß fertig montiert.

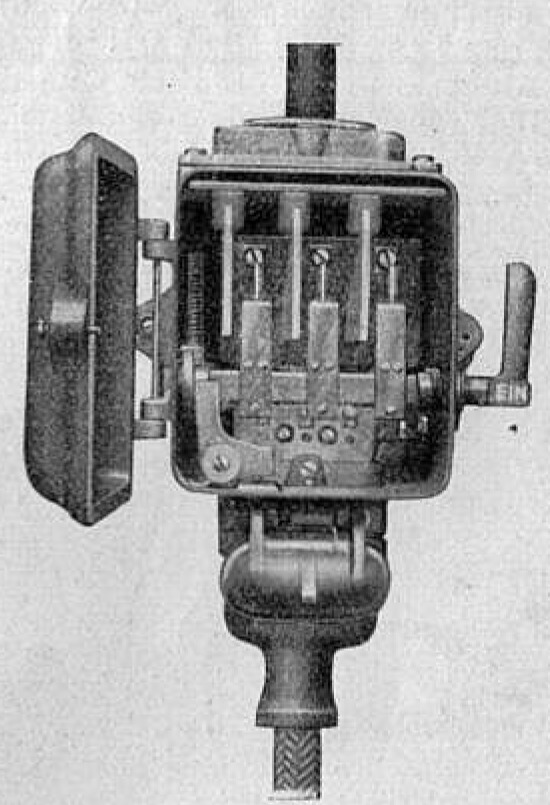


Abb. 112. K 1290

Steckerkasten mit Verriegelung durch den Hebelschalter.

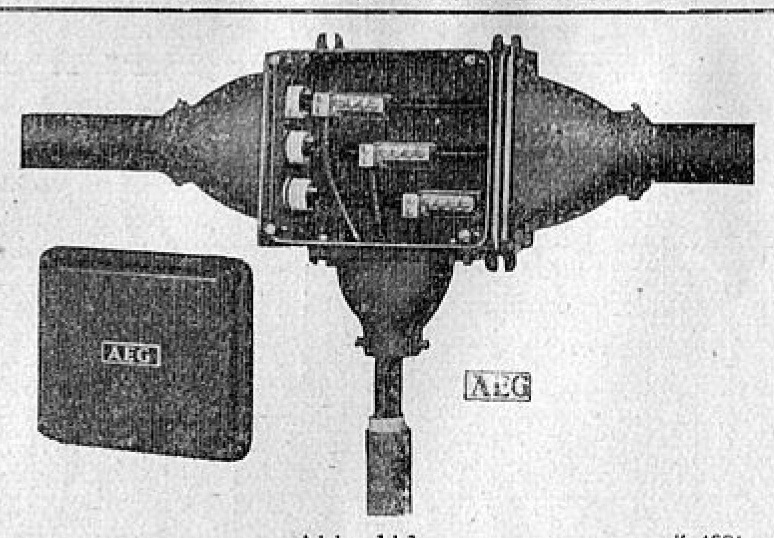


Abb. 113 K 1291
Gußeiserner Abzweigkasten für Anschluß von 2"-Rohr und drei NGA-Leitungen von 95 qmm.

Kabelendverschluß ist ohne die Verschlußbuchse ausgebildet, die durch eine Schelle zum Verschrauben ersetzt ist (Abb. 109). Die Bearbeitung des Kabelendes ist auch hier zunächst die gleiche wie bei dem gewöhnlichen Kabelendverschluß.

In Abb. 109 ist ein Vierleiterkabel abgebildet, dessen geerdeter Nulleiter an die Erdungsklemme des Kastens angeschlossen ist. Nach dem fertigen Anschließen des Kabels wird der Durchgang des Kabels durch die Schelle abgedichtet, und nach dem Verschrauben des Endverschlusses erfolgt das Vergießen durch die Oeffnung im Boden des Schaltkastens (Abb. 110).

Für den Anschluß von Rohren bedarf es verschiedener Ausführungen, da sowohl einzelne Rohre als auch gemeinsame Rohre für den Anschluß in Frage kommen. Bei Drehstrom kommt letzteres fast ausschließlich in Betracht. Während die Abdichtung zwischen Anschlußarmatur und Schaltapparat durch eine Hanfdichtung erfolgt, dient zum Abschluß gegen das Rohr ein Gummiring, der durch ein aufgeschraubtes Blech nach Art einer Stopfbuchsendichtung an das Rohr gepreßt wird (Abb. 114). Bei der Montage wird also zuerst das Blech, dann der Ring und zum Schluß die gußeiserne Anschlußarmatur angebracht (Abb. 115).

Handelt es sich nicht nur um eine Sicherung, sondern um eine ganze Verteilungszentrale, so erfolgt die Verbindung der abgehenden

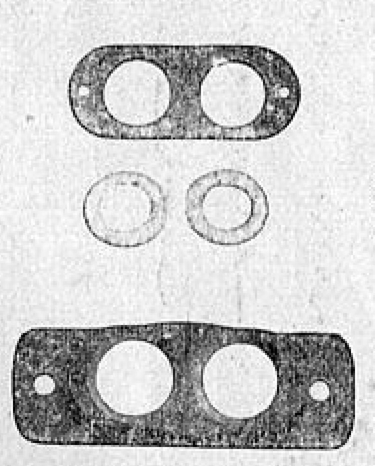


Abb 114 K 1292
Teile der Rohranschlußarmatur für 2 einzelne Rohre (Gleichstrom).

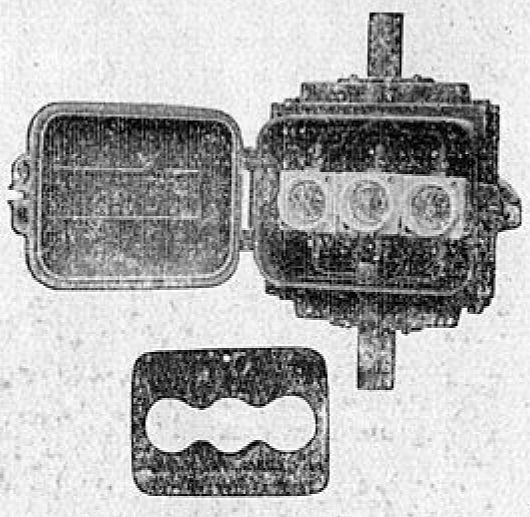


Abb. 116. K 1293
Dreipolige Sicherung mit beiderseitigem Rohranschluß.

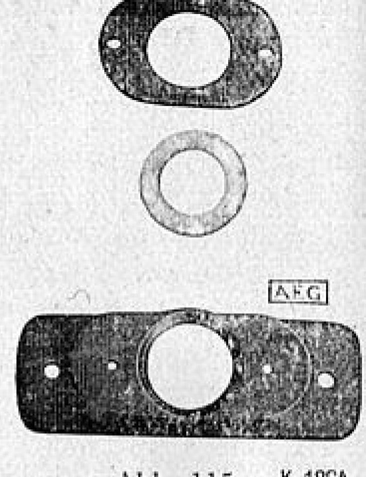


Abb. 115. K 1294
Teile der Rohranschlußarmatur für ein gemeinsames Rohr (Gleichstrom und Drehstrom).

Rohre mit dem Kasten der Zentrale ohne besondere Armatur. In die angegossenen Stutzen wird das Rohr eingesteckt und von innen durch Aufschrauben einer als Mutter dienenden Reduktionsbuchse befestigt (Abb. 117). Die auf Länge geschnittenen Drähte der Verteilungsleitungen werden nach vorne umgebogen und dann die Blechtafel mit den Schaltapparaten eingesetzt. Während die Erdungsleiter oder geerdeten Nulleiter an die innen angebrachten Schrauben im Gehäuse gelegt werden, müssen die stromführenden Drähte in Oesen gebogen und unter die Schalttafelklemmen geführt werden. Nach Anschrauben der Isolierkappen wird der große Deckel der Verteilungstafel angebracht, der in sich den kleineren mit Vorreiber verschlossenen Deckel zur Bedienung der Sicherungen trägt (Abb. 118).

Diese Verteilungskästen werden neuerdings statt mit einpoligen Sicherungselementen auch mit AEG-Kleinautomaten geliefert. Die Anordnung der Selbstschalter ist aus Abb. 119 bei abgenommenem Deckel, sowie Abb. 120 bei geöffneter Bedienungstür ersichtlich. Die Berührung spannungführender Teile wird durch eine Isolierwand verhindert, welche in Abb. 119 der Deutlichkeit halber fortgelassen ist.

Gekapselte Kragensteckvorrichtungen verlangen noch eine besondere Beachtung. Während ihr ortsfester Teil meist an Rohr, seltener an Kabel in ähnlicher Weise angeschlossen wird wie bei anderen Apparaten,

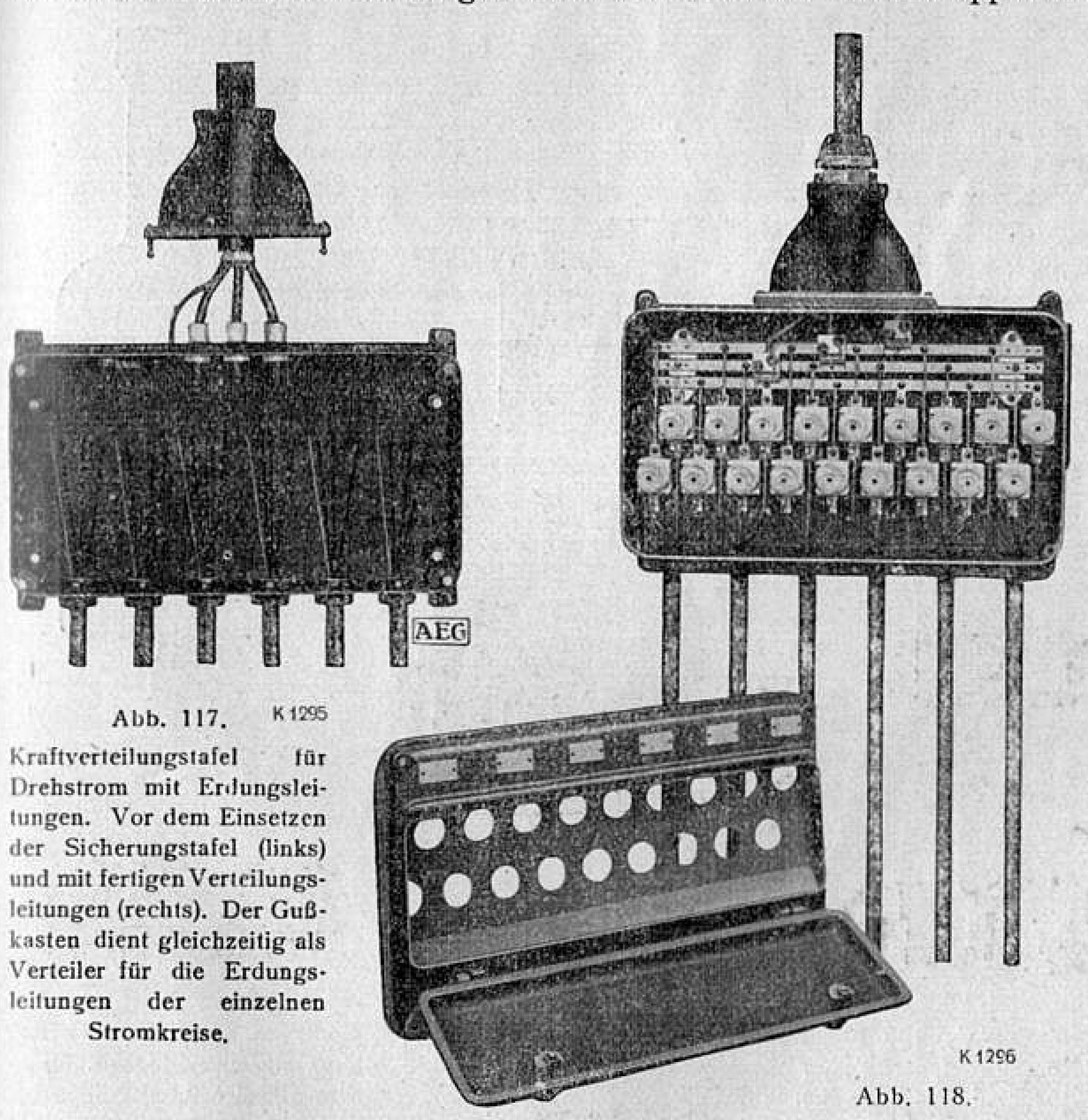


Abb. 117. K 1295

Kraftverteilungstafel für Drehstrom mit Erdungsleitungen. Vor dem Einsetzen der Sicherungstafel (links) und mit fertigen Verteilungsleitungen (rechts). Der Gußkasten dient gleichzeitig als Verteiler für die Erdungsleitungen der einzelnen Stromkreise.

K 1296

Abb. 118.

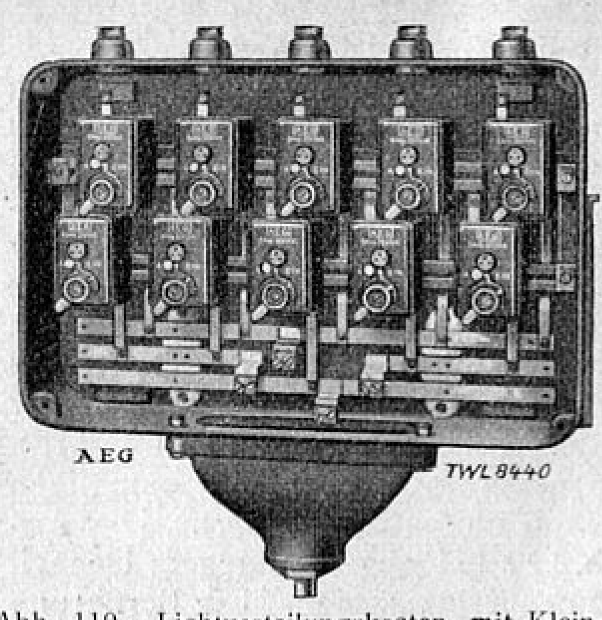


Abb. 119. Lichtverteilungskasten mit Kleinautomaten, Deckel abgenommen (Isolierwand fortgelassen).

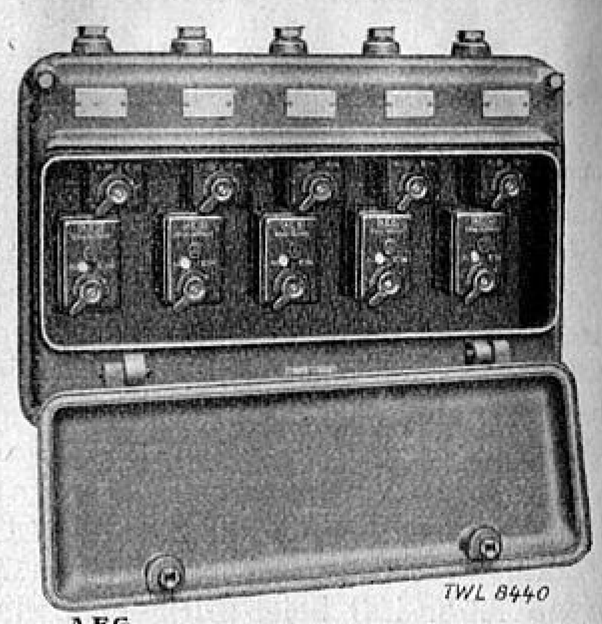


Abb. 120. Lichtverteilungskasten mit Kleinautomaten, Bedienungstür geöffnet.

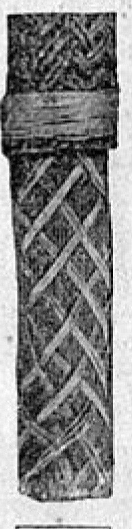


Abb. 121.
Kordelkabel mit freigelegter Erdungsbeflechtung.



Abb. 122.
Kordelkabel, fertig, zum Anschluß des Steckers.



Abb. 124.
Kragenstecker mit angeschlossener Erdungsbeflechtung.

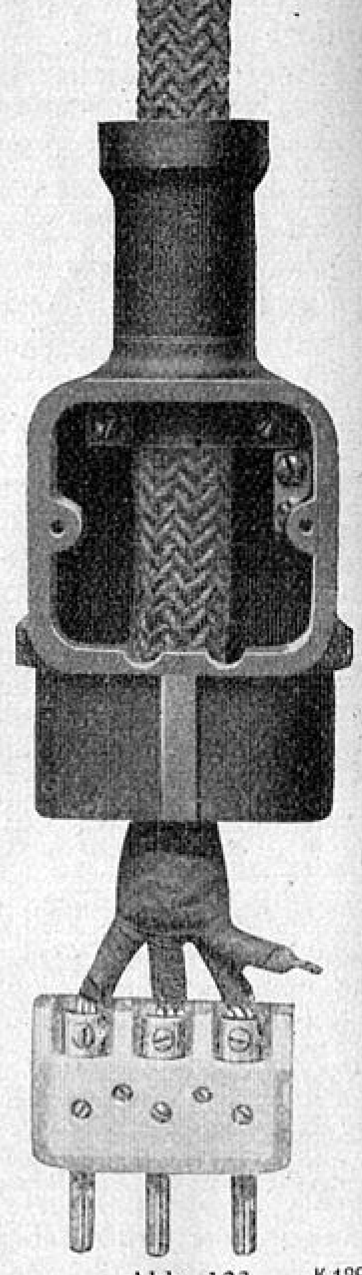


Abb. 123.
Kragenstecker während der Montage des Kordelkabels.

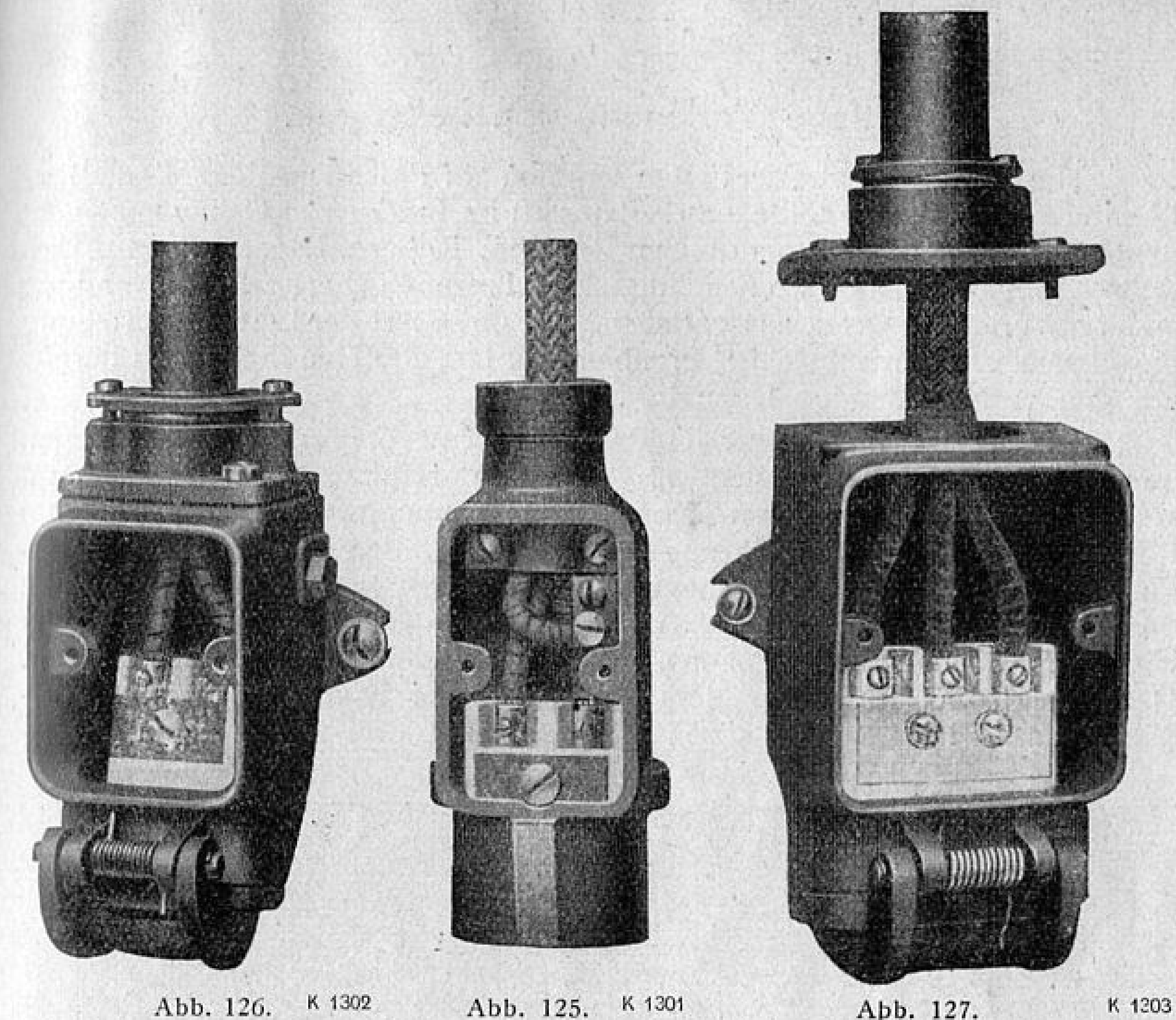


Abb. 126. K 1302
Zweipolige Kragen-Steckvorrichtung mit Erdungsleitung und Rohrarmatur, fertig angeschlossen. (Deckel abgenommen.)

Abb. 125. K 1301
Zweipoliger Kragenstecker mit dritter Kabelader als Erdungsleitung.

Abb. 127. K 1303
Große, dreipolige Kragen-Steckvorrichtung mit Erdungsleitung, fertig angeschlossen, vor dem Anschrauben der Rohrarmatur. (Deckel abgenommen.)

ist die Montage der Stecker schon durch die Art der anzuschließenden Leitung unterschieden. In der Regel dienen hierzu Kordelkabel, die nur bei Handlampen zweiadrig und ohne Erdungsleiter, bei Anschluß von Motoren zwei- oder dreiadrig und entweder mit eingelegtem Erdungsleiter oder mit Erdungsbeflechtung aus verzinnten Kupferdrähten ausgestattet sind (Abb. 121). Die Leitungen Type NHK und NWK werden ohne oder mit Erdungsleiter, die Type NSGCK nur mit Erdungsbeflechtung ausgeführt. In dem Hohlraum des Steckers (Abb. 123) sieht man zunächst die Schelle, welche das Kabel festklemmt und zur Entlastung der Kupferleiter gegen Zug dient. Neben den stromleitenden Buchsenkontakten sitzt die Klemme zum Anschluß des Erdungsdrahtes. Die Erdungsbeflechtung wird bis hart an die Hanfkordelbeflechtung aufgemacht und dann nach einer Seite zu einem Zopf zusammengewunden und verlötet (Abb. 122). Der gußeiserne Steckerkörper wird über das Kabel zurückgeschoben, so daß man die Leitungen an den Isolierkörper bequem anschließen kann (Abb. 123). Dann wird der Gußkörper übergeschoben und die Erdungsleitung und Entlastungsschelle angeklemmt (Abb. 124 und 125). Abb. 126 und 127 lassen das Innere einer fertig montierten zweipoligen und dreipoligen Kragen-Steckvorrichtung erkennen.

Offene Verlegung von Leitungen.

Die Verlegung von isolierten Drähten auf Porzellanrollen, Porzellanklemmen und Porzellanglocken (Isolatoren) im Innern von Gebäuden findet heute nur noch in untergeordneten Räumen, Kellern, Lagerräumen u. dgl. Anwendung, oder dort, wo Feuchtigkeit und ätzende Dünste die Anwendung anderer Verlegungsarten ausschließen. Da diese Art der Leitungsverlegung die älteste und einfachste ist, ergeben sich fast alle Handhabungen bereits aus den vorhergehenden Kapiteln.

Die Verlegung dünner Drähte (bis etwa 6 qmm) auf Klemmen, gewöhnlichen Porzellanrollen für trockene Räume, Mantelrollen und solchen mit großer Oberfläche (Hochspannungsrollen) für feuchte Räume, ist in der Ausführung gleich. In allen diesen Fällen beginnt man mit dem Vorzeichnen für die Befestigungsstellen wie sonst durch Schnurschlag. Der Abstand der Befestigungsstellen darf höchstens 80 cm, bei Decken zweckmäßig nicht über 2 m betragen. Dann folgt das Eingipsen der Dübel, die bei Klemmen meist Spiraldübel sind. Die Rollen sitzen zu zwei und drei auf fertigen Eisen-

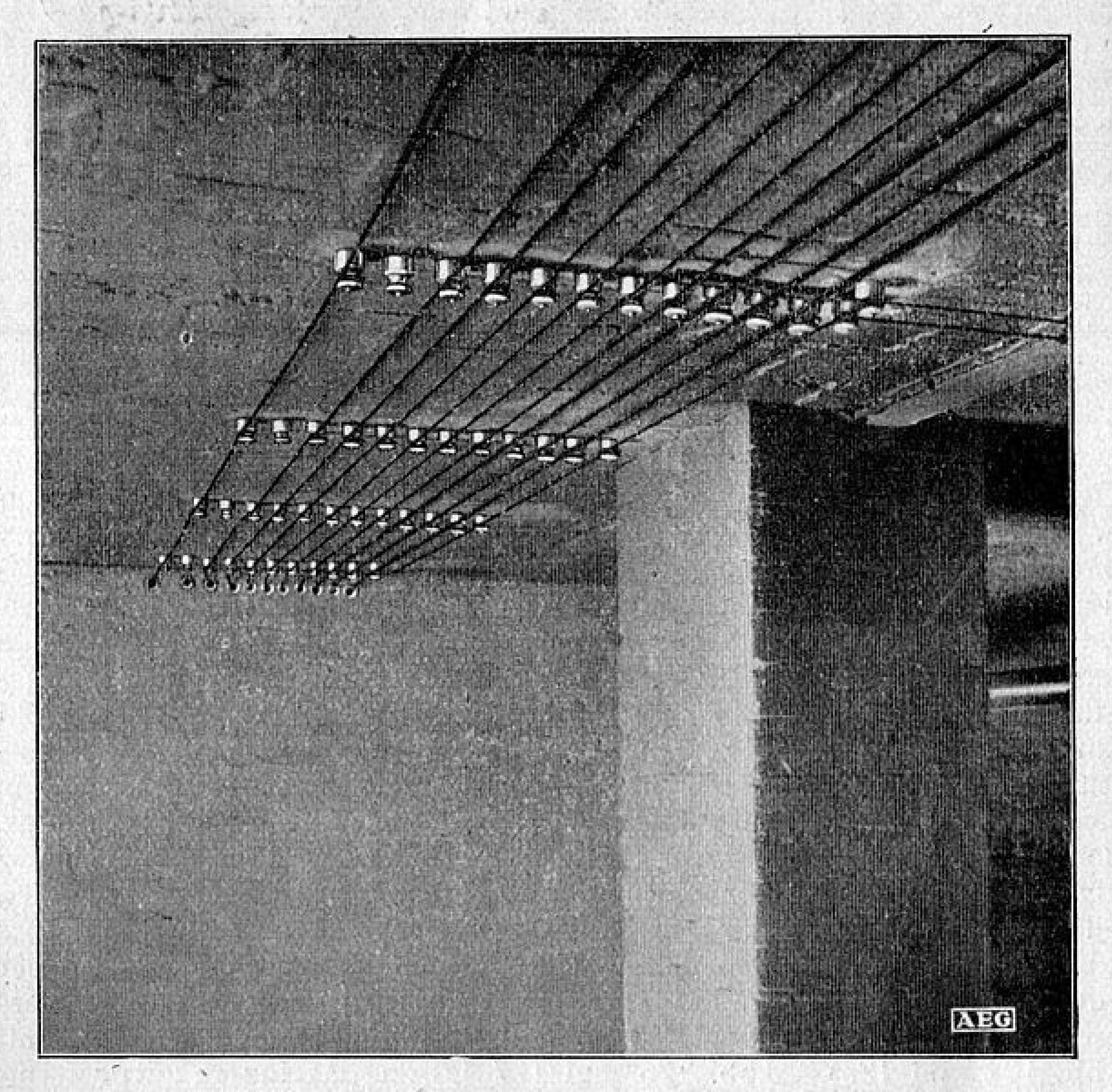


Abb. 128. Offene Verlegung dünner Drähte auf Porzellanrollen. K 1304

dübeln, werden aber auch in größerer Zahl auf Flacheisenleisten (Abb. 128) und Registern verwendet, so daß auf etwa 4—6 Rollen nur zwei Mauerbefestigungen kommen.

Die Drähte werden sodann in möglichst großen Längen aufgebracht, an einem Ende durch Abbinden endgültig befestigt und lose über alle folgenden Befestigungspunkte hinweggeführt. Das Straffspannen des Drahtes erfolgt nun durch Zug am anderen Ende. Auch bei dünnen Drähten geschieht das meist in derselben Weise, wie es für stärkere weiter unten beschrieben wird. Man braucht jedoch dem Spannen hier nicht die gleiche Bedeutung beizumessen, weil bei dem Abbinden der dünnen Drähte an jeder einzelnen Rolle durch das Einziehen des Drahtes um die Wölbung der Rolle ein weiteres Straffziehen bewirkt wird. Auch bei den Klemmen empfiehlt sich die Verwendung der selbstspannenden Form, die ebenso wirkt. Das Abbinden an Rollen erfolgt am besten nur mit isoliertem Bindedraht; dabei spart man die sonst notwendige Umwickelung mit Isolierband und hat die Gewähr, daß die Gummiisolation nicht beschädigt („durchgebunden“) wird.

Die Verlegung stärkerer Drähte auf Rollen hat vor allem dort Bedeutung, wo die Leitungsführung im Rohr durch die Unebenheit der Decken-

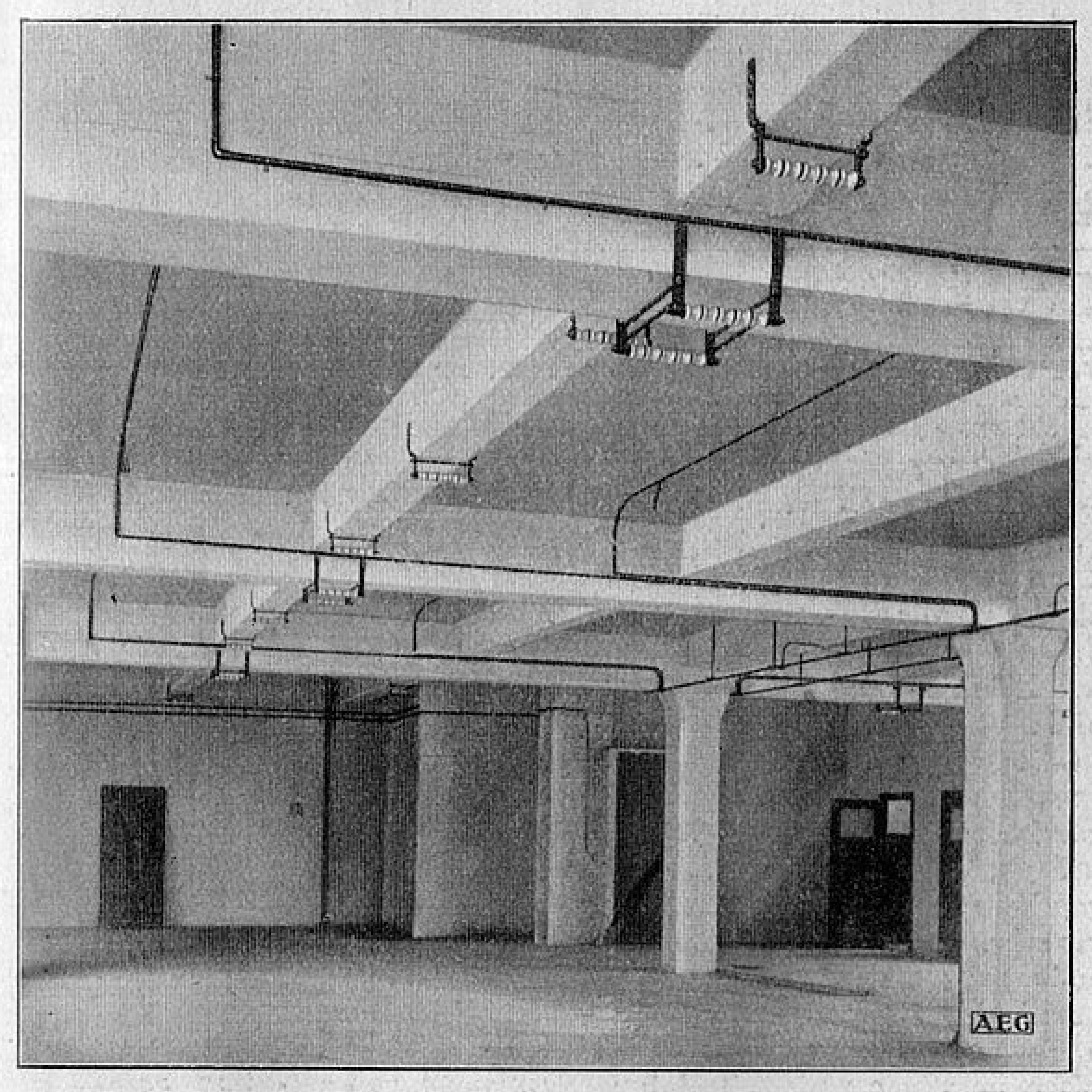


Abb. 129. Rollenregister für starke Drähte, welche unter Vermeidung aller Stemmarbeiten an die Betonbalken angeklemmt sind. Leitungsverlauf in Richtung der Balken. K 1305

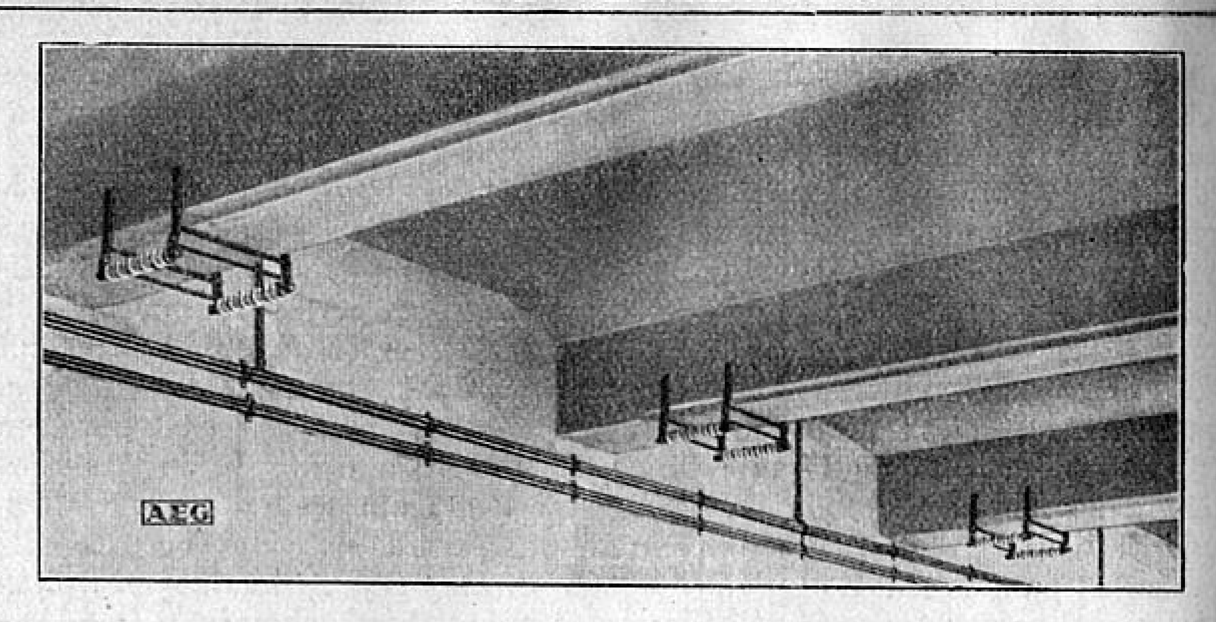


Abb. 130. K 1306
Rollenregister wie Abb. 129, jedoch für Leitungsverlauf quer zu den Betonbalken.

konstruktion, wie z. B. in trockenen Lager- oder Fabrikräumen, schwierig würde. Handelt es sich nur um eine Hauptleitung aus 2—3 Drähten, so nimmt man Eisendübel wie bei schwächeren Leitungen. Kommen aber mehr Drähte in Frage, so ordnet man besser auf Rundeisen aufgereihte Rollen an, die je nach der Baukonstruktion sehr verschieden gestaltet werden müssen. Als Beispiel sei die Befestigung an Betonbalken dargestellt, wie sie sich in modernen Bauten öfter finden. Die Register (Abb. 129) umfassen die Betonbalken, die Enden der

Abb. 131. Die lose über die Rollen gelegten Drähte werden durch Flaschenzüge gespannt, welche an einem provisorischen Stützpunkt befestigt sind. K 1307

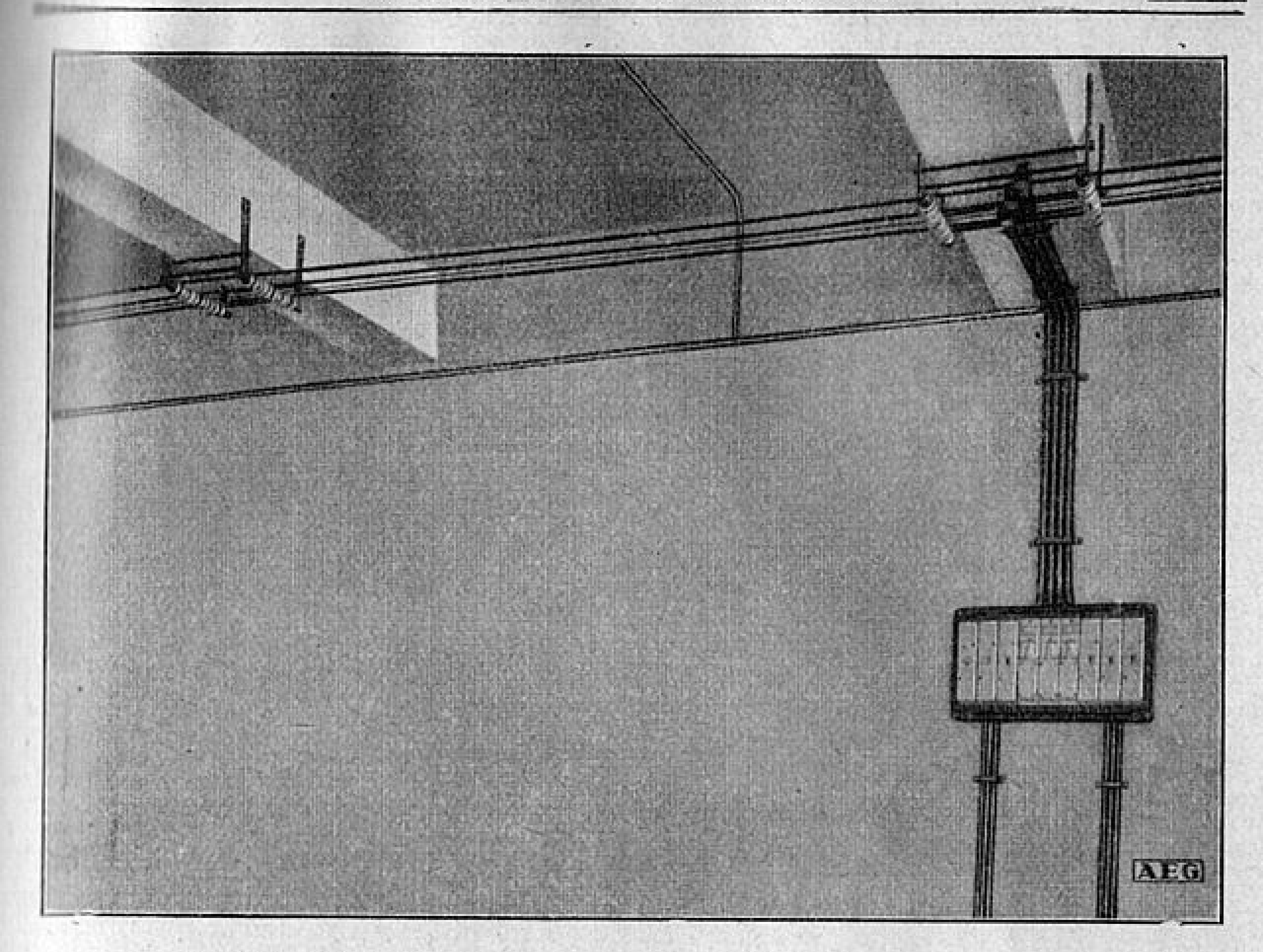


Abb. 132. Die fertig gespannten und gebundenen Leitungen. Abzweig in Rohrverlegung und Verteilung mit Streifensicherungen für zwei Kraftstromkreise. K 1338

Flacheisen sind umgebogen und etwa 2 cm tief in den Beton eingestemmt. Das ist aber auch die einzige Stemmarbeit. Im übrigen ist das Register durch Zugstangen angeklemmt. Auch die entsprechenden Register an den Unterzügen sind so angeklemmt. Die Konstruktion ist verschieden, je nachdem die Leitung längs (Abb. 129) oder quer zum Balken (Abb. 130) verläuft.

Nachdem die Drähte an einem Ende befestigt und lose aufgebracht sind, müssen sie gespannt werden. Zu diesem Zwecke schafft man sich einen provisorischen Befestigungspunkt für die Flaschenzüge, etwa durch loses Gegenlehnen eines Rüstholzes gegen den Deckenbalken. Die Drähte werden mit Froschklemmen gefaßt und durch den Flaschenzug so gespannt, daß ihre dauernd straffe Lage gesichert ist. Durch Verknoten des Zugseiles mit den Seilbahnen des gespannten Flaschenzuges wird die Spannung aufrechterhalten (Abb. 131). So können erst alle Drähte gespannt werden, und dann geht man an das Abbinden der Drähte an allen Befestigungspunkten. Erst nachdem so alle Bindestellen fertig sind (Abb. 132), lockert man den Flaschenzug, so daß sich der Zug auf alle Rollen verteilt.

Bei der **Installation in Ställen** ist man bestrebt, die Leitungsstücke, welche im Stall verlaufen, möglichst kurz zu halten, da dem Angriff der Stalldünste nur schwer zu begegnen ist. Man legt also die Leitung so weit wie möglich an der Außenwand des Stalles entlang, und führt sie dann durch fabrikationsmäßig hergestellte sogenannte Lw.-Wanddurchführungen in diesen ein. Diese zweipolige Wanddurchführung für Leitungsquerschnitte von 1—6 qmm wird in zwei Längen geliefert, für $^1/_2$ Stein und 1 Stein starke Wände. Wie aus den Abbildungen 134 und 135

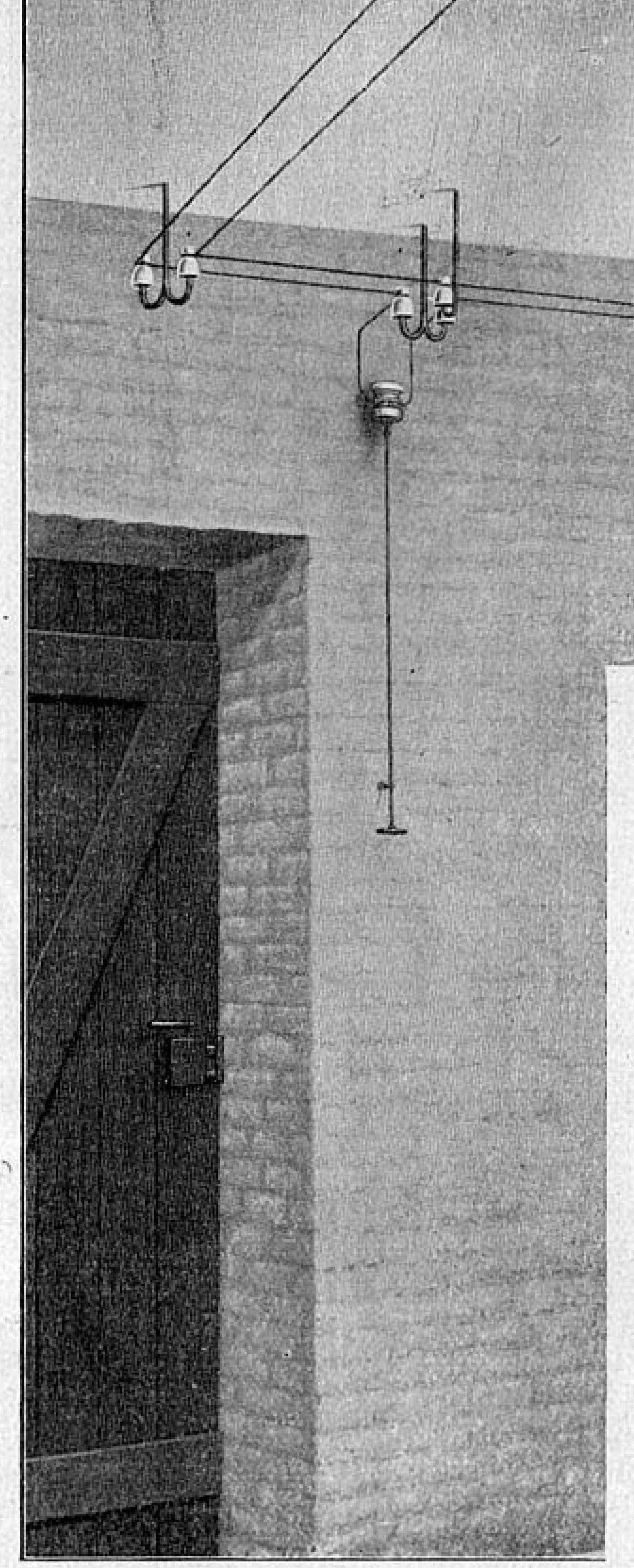


Abb. 133. Offene Leitungsverlegung auf Porzellanisolatoren in Ställen. K 1309

hervorgeht, werden hierdurch alle Wandstärken umfaßt, welche zwischen $^1/_2$ Stein und $1^1/_2$ Stein liegen. Die beiden Durchführungsbolzen sind in einem ovalen Rohr aus Zinkblech untergebracht, das mit Vergußmasse ausgefüllt ist. Ein Vergießen an Ort und Stelle kommt also in Fortfall. Der Porzellankopf gewährleistet eine völlige Abdichtung der Klemme und des Drahtes gegen das Innere des Stalles. Die Wanddurchführung, welche zunächst für frei verlegte Drähte gedacht ist, kann auch durch entsprechende Gußhauben über dem Porzellankopf zum Anschluß von Rohr verwendet werden und durch Benutzung gleicher Schraubhülsen an beiden Enden auch als Wanddurchführung zwischen 2 feuchten Räumen oder als Deckendurchführung zwischen einem feuchten und einem trockenen Raum verwendet werden.

In Ställen, welche hoch genug sind, um ungeschützte Leitungen verlegen zu können, werden diese auf Doppelglockenisolatoren mit Deckenstützen montiert. Als Mindestquerschnitt der Leitungen kommen 4 qmm in Frage. Nach den Errichtungsvorschriften der VDE ist die Verlegung blanker Leitungen zulässig, die zweckmäßig mit säurefestem Emaillelack zu streichen sind. Vielfach wird wetterfest imprägnierter Draht nach

den Normalien für umhüllte Leitungen Type LWC oder PLWC verlegt. Am besten ist jedoch die Verlegung von wetterfest imprägnierter Gummiaderleitung für diejenigen Drähte, welche Spannung gegen Erde führen, und von Nulleiterdraht für die geerdeten Teile der Leitung. Die Bindestellen sind nicht mit blankem Bindedraht, sondern ebenfalls mit wetterfest isoliertem Bindedraht herzustellen, wenn es sich nicht ermöglichen läßt, nur mit den Endbunden auszukommen. Diese werden in der Weise gemacht, daß der 4-qmm-Leitungsdraht um den Kopf des Isolators geschlungen und mit sich selbst verdrillt wird. An den Gehrungsstellen wird die Verwendung der Doppelglockenisolatoren in normaler Ausführung, also mit unverändertem Abstand dadurch ermöglicht, daß der Draht bei dem einen Isolator außen um den Hals geführt wird, bei dem anderen Isolator um den Hals geschlungen wird, so daß sich als Abstand der 2 Drähte an der Gehrungsstelle das Maß von Außenkante-Isolator zu Außenkante-Isolator ergibt, während er auf der geraden Strecke gleich dem Abstand von Mitte zu Mitte des Isolators ist (Abb. 133).

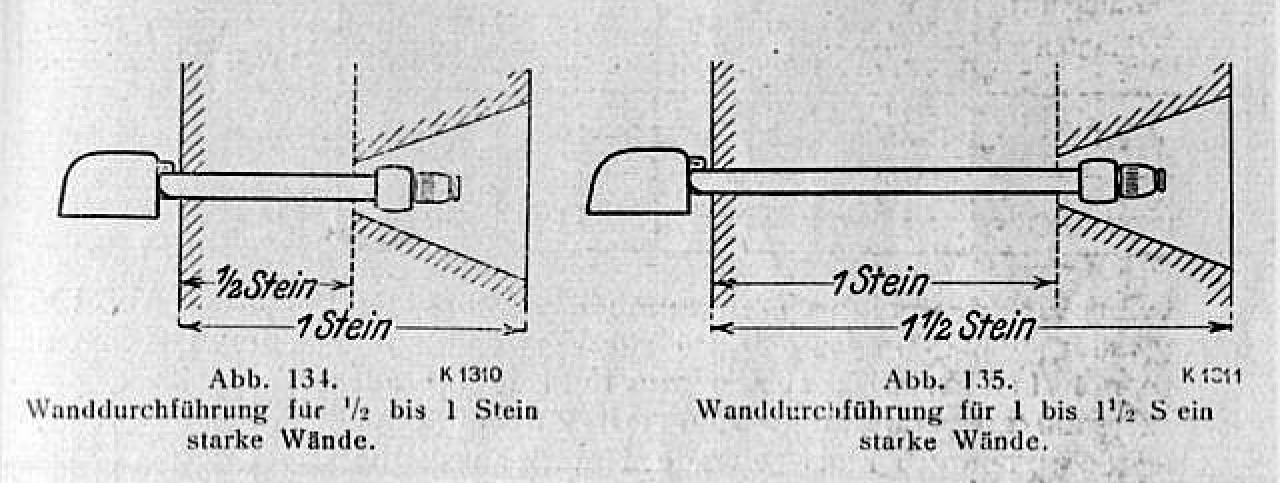


Abb. 134. Wanddurchführung für ½ bis 1 Stein starke Wände.

Abb. 135. Wanddurchführung für 1 bis 1½ Stein starke Wände.

Bei Stallungen, deren Höhe nicht ausreichend ist, um freigespannte Drähte außerhalb des Handbereiches zu verlegen, ist man zur Stahlpanzerrohrinstallation gezwungen. Wenn die oben beschriebenen Wanddurchführungen verwendet werden, so ist nicht zu befürchten, daß sich innerhalb des Rohres Isolationsstörungen durch Niederschlag von Feuchtigkeit im Rohr einstellen werden, da innerhalb des Stalles Temperaturdifferenzen nicht auftreten. Das Stahlpanzerrohr wird auf Abstandsschellen verlegt und an seinen Enden, welche immer innerhalb des Stalles liegen müssen, abgedichtet.

Als Schalter kommen lediglich Stangenschalter zur Verwendung, welche in Porzellangehäusen eingeschlossen sind und bei offener Verlegung der Leitungen abgedichtete Drahteinführungen besitzen, für Stahlpanzerrohr eine entsprechende Rohreinführung haben.

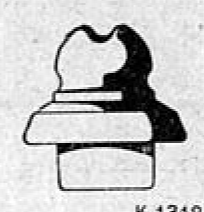
Als Beleuchtungskörper dürfen in Stallungen nur wasserdichte Porzellanarmaturen verwendet werden, bei denen das Schutzglas durch einen Gummiring abgedichtet ist.

Verlegung von Freileitungen für Niederspannung.

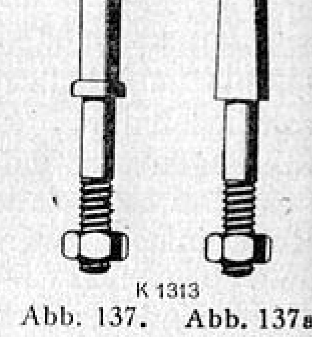
Die Verlegung von Leitungen im Freien erfolgt ausschließlich auf Porzellanglocken (Isolatoren), die an Masten oder Gestängen befestigt werden. Zur Erhöhung der Lebensdauer sind Holzmaste zu imprägnieren, wodurch ein vorzeitiges Zerstören durch Fäulnis verhindert wird. Ferner müssen sie entsprechend den Normen für Freileitungen des VDE. eine genügende Länge und Stärke haben. Die Stärke wird nach dem Durchmesser am oberen dünnen Ende angegeben (Zopfstärke). Im allgemeinen werden für Spannweiten bis zu 40 m Masten mit den in der folgenden Tabelle angegebenen Abmessungen verwendet.

Aufstellungsort der Masten	Gesamtquerschnitt der Leitungen bis					
	ca. 50 qmm		ca. 100 qmm		ca. 200 qmm	
	Länge	Zopfstärke	Länge	Zopfstärke	Länge	Zopfstärke
auf der Strecke	8—9 m	12 cm	9—10 m	14 cm	10 m	16 cm
Wegkreuzungen	10 m	12 cm	11 m	14 cm	11 m	16 cm

Zur Stützung der Leitungen kommen Isolatoren aus Porzellan (Abb. 136) mit gerader oder gebogener Stütze zur Verwendung. Die geraden Stützen (Abb. 137) dienen zur Befestigung auf Traversen und sind mit kurzem oder langem Eisengewinde, Unterlegescheibe und Mutter versehen. An Eck- oder Winkelpunkten benutzt man verstärkte Stützen nach Abb. 137a. Die Isolatoren mit gebogenen Stützen erhalten Holzschraubengewinde (Abb. 138). Sie können auch in Mauerwerk einzementiert oder eingegipst werden. Die Isolatoren sind mit den Stützen fertig verbunden zu beziehen. Werden Isolatoren und Stützen getrennt angeliefert und ist daher die Verbindung auf der Montagestelle erforderlich, so sind die Isolatoren auf die Stützen aufzuhanfen oder aufzukitten. Zum Aufhanfen werden die Stützen mit leinölfirnisgetränktem Hanf umwickelt und dann der Isolator auf die Stützen fest aufgedreht.



K 1312
Abb. 136. Porzellanisolator für Niederspannung



K 1313
Abb. 137. Gerade Isolatorenstütze normal. Abb. 137a. verstärkt.

Zum Aufkitten der Isolatoren auf die Stützen darf nur erprobter Kitt, der nicht treibt, Verwendung finden.

Vor Inangriffnahme des Baues einer Leitungsstrecke muß der Weg festgelegt sein, den die Leitung nehmen soll. Auf diesem Wege werden die Maststandorte durch Markierpfählchen festgelegt. An den so bezeichneten Stellen werden die Mastlöcher entweder gegraben, gebohrt oder gesprengt.

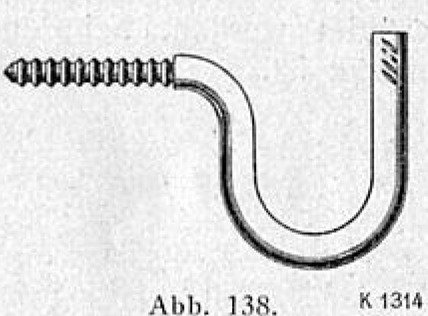


Abb. 138. K 1314
Gebogene Isolatorenstütze.

Die Tiefe der Löcher richtet sich nach der Beschaffenheit des Bodens und der Länge der zur Verwendung gelangenden Maste und soll bei ebenem trockenen und gewachsenen Boden ca. $1/8$ der Mastlänge betragen. Die durch Ausheben des Bodens mittels Spaten, Schaufel, Spitzhacke und Brecheisen herzustellenden Löcher werden zweckmäßig in den Abmessungen der Abb. 139 treppenartig so hergestellt, daß sie an der tiefsten Stelle nicht viel größer als der Umfang des Mastendes sind.

Die Herstellung eines Mastloches mittels Erdbohrer nach Abb. 140 in steinfreiem und nicht zu trockenem gewachsenen Boden ist gegrabenen Löchern vorzuziehen, da die Masten in gebohrten Löchern dadurch einen festeren Stand erhalten, daß sie allseitig von gewachsenem Boden umgeben bleiben.

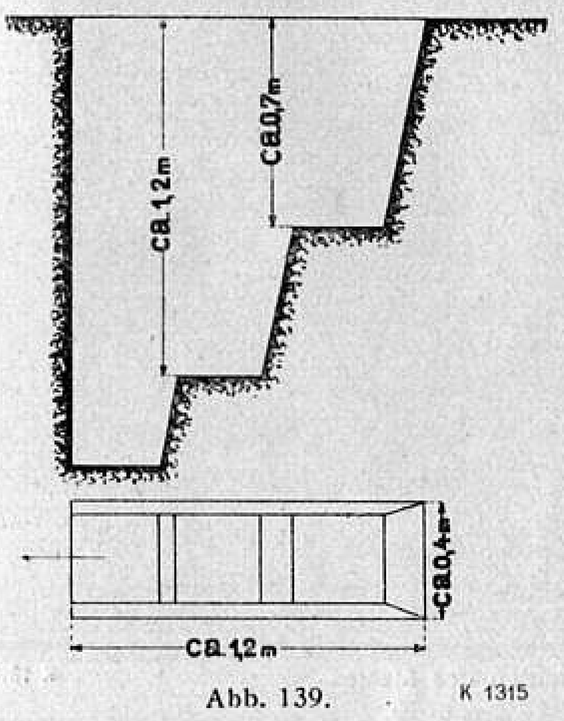


Abb. 139. K 1315

Gegrabenes Erdloch zur Aufstellung eines Holzmastes.
(Die senkrechte Fläche soll den Zug des Mastes aufnehmen.)



Abb. 140. K 1316

Bohrung eines Mastloches mit Erdbohrer.

Zum Sprengen von Mastlöchern bedient man sich eigens zu diesem Zweck hergerichteter Sprengpatronen (Sprengkapseln). Die Sprengarbeiten sind jedoch nur von genauestens instruiertem Personal vorzunehmen, unter Beachtung der für Sprengarbeiten gegebenen Vorschriften.

Es empfiehlt sich, täglich nur so viel Mastlöcher herzustellen, als an einem Tage mit Masten besetzt werden können; anderenfalls sind die freigebliebenen Löcher den polizeilichen Vorschriften entsprechend über Nacht mit Brettern abzudecken.

Nach Festlegung der Mastaufstellungspunkte kann mit der Anfuhr der Masten, Streben, Anker und Isolatoren und mit der Verteilung auf die Verwendungsstellen begonnen werden. Die an Ort und Stelle gebrachten Maste werden noch vor dem

Abb. 141. Einschrauben der Isolatoren in den liegenden Mast. K 1317

Abb 142. Aufrichten des Mastes. K 1318

Abb. 143. Ausrichten des Mastes nach dem Senklot. K 1319

Aufstellen mit der erforderlichen Anzahl von Isolatoren versehen. Der Mast wird hierzu mit dem Zopfende auf einen kleinen Gabelbock (Abb. 141) gelegt, um das Bohren der Löcher und das spätere Einschrauben der Isolatoren zu erleichtern. Die Isolatorenlöcher werden mittels Holzbohrer auf etwa $^3/_4$ der Länge der Holzschraube vorgebohrt. Die Stärke des Bohrers ist etwas schwächer als die Stärke der Holzschraube zu wählen. Bei dem Bohren der Löcher ist darauf zu achten, daß sie genau senkrecht zur Mastachse gebohrt werden, damit der eingeschraubte Isolator genau parallel zur Mastachse zu sitzen kommt. In die vorgebohrten Löcher sind die Stützen so tief einzuschrauben, daß der mit Holzgewinde versehene Teil der Stützen vollkommen im Holz sitzt. Der oberste Isolator wird ca. 100—150 mm vom Zopfende eingeschraubt. Der senkrechte Abstand der Isolatorenstützen unter sich soll nicht unter 250 mm, gewöhnlich 300—400 mm betragen.

Bei gegrabenen Löchern wird vor dem Aufrichten des Mastes gegen die senkrecht abgegrabene Seite des Loches ein Brett gestellt. Alsdann wird der Mast so mit seinem unteren Stammende gegen das Brett über das Loch gelegt, daß er beim Anheben des Zopfendes an dem Brett entlang in das Loch hinabgleitet. Das Hinabgleiten des Mastes in das Loch wird wesentlich erleichtert, wenn ein Arbeiter mit einem Riegel von der Schmalseite aus, an der das Brett eingesetzt ist, auf das untere Stammende drückt. Zum weiteren Aufrichten des Mastes bedient man sich zweier scheerenartig mit einem Strick verbundener Stangen zum Nachschieben des Mastes am Zopfende, wie Abb. 142 zeigt. Ist der Mast aufgerichtet, so wird das Brett aus dem Loch entfernt, und der Mast durch Drehen um seine Achse in die richtige Isolatorenstellung gebracht. Die lotrechte Stellung wird sowohl in der Richtung des Leitungszuges als auch in der dazu senkrech-



Abb. 144. Eindrehen eines Mastes in ein gebohrtes Loch. K 1320

ten Richtung mit einem Senklot kontrolliert (Abb. 143), wobei der Mast durch mit eisernen Spitzen versehene Stangen gehalten wird.

Das Wiederanfüllen des ausgehobenen Erdreiches erfolgt dann schichtweise unter Feststampfen der Erde mit in Abb. 145 dargestellten Stampfern. Hierbei sind beim Ausheben des Mastloches etwa gewonnene Steine zum Anfüllen des Loches zu verwenden. Das übrig bleibende Erdreich wird um den Mast angehäuft.



Abb. 145. K 1321
Feststampfen des Mastes.

Soll ein Mast in ein mit dem Erdbohrer hergestelltes Loch gestellt werden, so muß er unmittelbar neben dem Loch, wie vorher angegeben, lotrecht aufgerichtet, dann angehoben und vorsichtig in das Loch hinabgelassen werden. Rutscht hierbei der Mast nicht bis auf den Boden des gebohrten Loches, so schlingt man ein Tauende um den Mast (Abb. 144), steckt einen Riegel durch die Schlinge, würgt diese mit dem Riegel zusammen und dreht dann den Mast mehrere Male um seine Achse, bis er auf dem Boden des Loches aufsteht. Das Lotrechtstellen des Mastes und Anfüllen des Loches erfolgt dann in gleicher Weise wie vorher angegeben.

Auf gerader Leitungsstrecke haben die Masten die Drähte nur zu tragen; ihre Beanspruchung ist daher gering (Abb. 146). An Winkel-

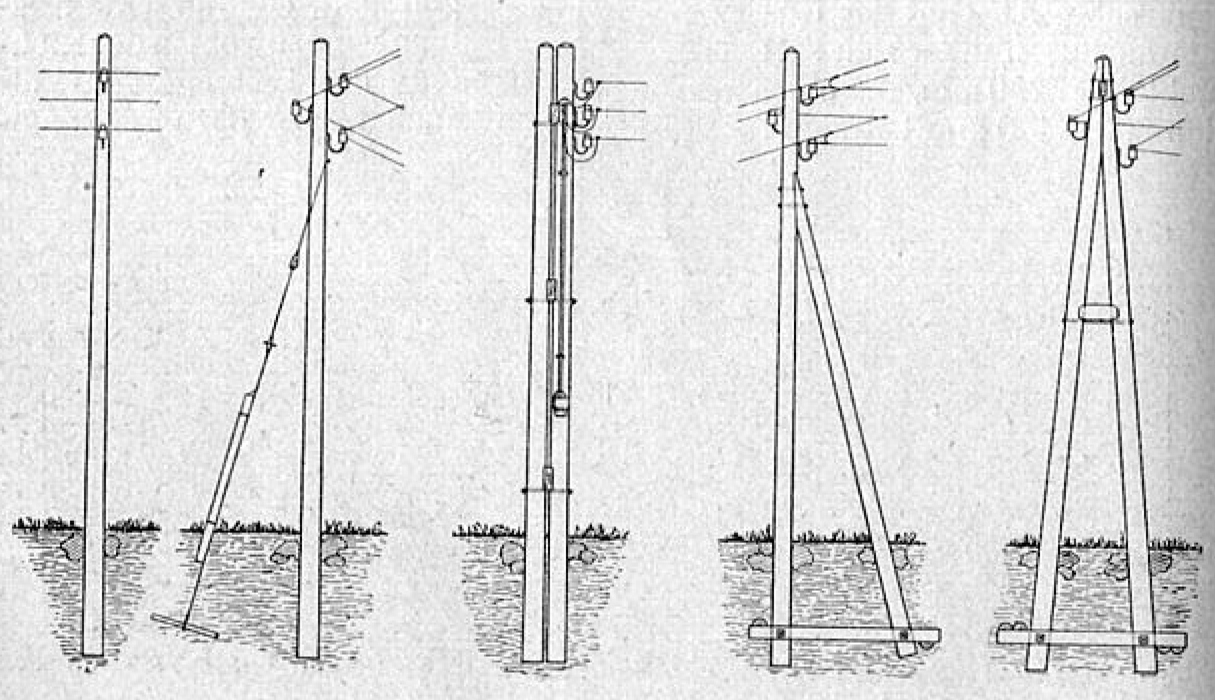


Abb. 146. Mast auf gerader Strecke. — Abb. 147 Mastanker. — Abb. 148. Doppelmast. — Abb. 149. Strebe mit Querholz. — Abb. 150. A-Mast für starke Züge. K 1322

punkten und an den Enden der Leitungsstrecke treten aber erhebliche Zugbeanspruchungen auf, denen der Mast allein nicht genügend Widerstand leisten kann. Man stützt ihn daher durch Streben (Abb. 149) oder man fängt die Zugkraft durch Anker ab (Abb. 147) oder man verstärkt den Mast durch Verbinden mit einem zweiten zum „A"-Mast (Abb. 150) oder Doppelmast. (Abb. 148.)

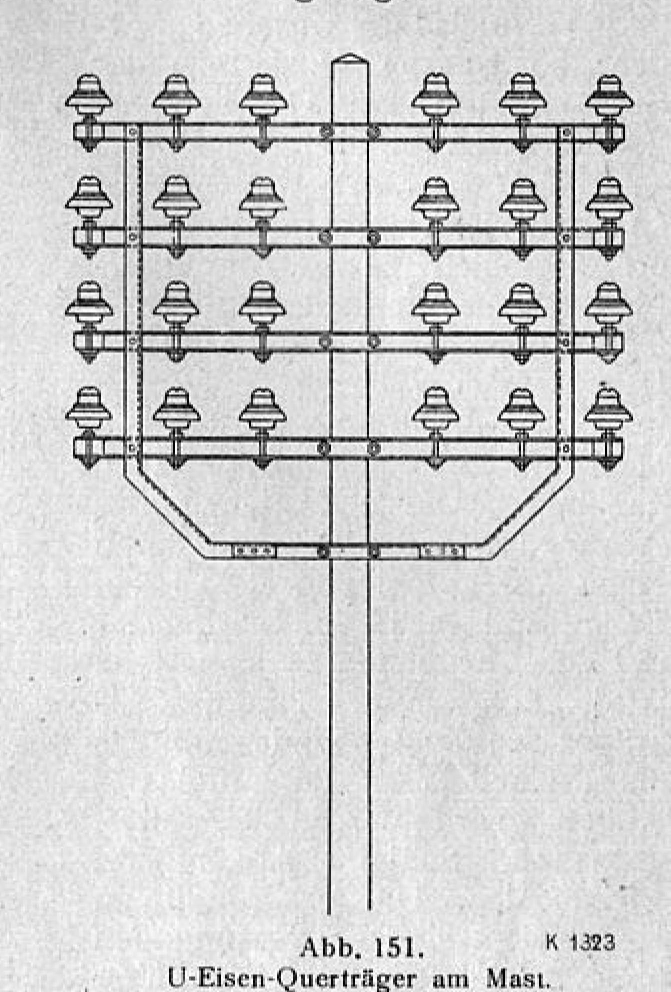


Abb. 151. K 1323
U-Eisen-Querträger am Mast.

Alle diese Verstärkungseinrichtungen müssen aber so angebracht werden, daß sie die wirkenden Kräfte voll aufnehmen; man sagt, sie müssen in der Richtung der resultierenden Zugkraft angebracht sein.

Zu Streben (Abb. 149) sind möglichst Stangen von gleichem Durchmesser wie der zu sichernde Mast zu verwenden. Die Länge der Streben richtet sich nach der Befestigungsmöglichkeit im Erdboden. Die Strebe ist mit dem Mast durch Schraubenbolzen zu verbinden.

Abb. 152. Dachständer für zahlreiche Leitungen 1324
(keine blanken Leitungen in vom Dache aus erreichbarer Höhe).

Kann einer Strebe örtlicher Verhältnisse wegen nur eine geringe Ausladung gegeben werden, so ist der Mast mit der Strebe durch ein Querholz zu verbinden (Abb. 149).

Die Herstellung von Ankern (Abb. 147) erfolgt je nach der erforderlichen Stärke durch 2- bis 4 fach zusammengelegte verzinkte Eisendrähte von ca. 4 mm Durchmesser.

Die Ankerdrähte werden am Mast durch einen Ankerhaken gehalten. Die Befestigung des Ankers im Erdboden wird durch einen Ankerpfahl von etwa 1,5 m Länge und ca. 15 cm Stärke, der in den Erdboden eingetrieben wird, hergestellt. Durch seilartiges Zusammenwinden mittels eines Knebels in der Mitte des Ankers wird der Anker straff gespannt. Schlaffe Anker sind wirkungslos. Die Ankerdrähte an Holzmasten sind bei Spannungen über 250 Volt gegen Erde über Reichhöhe mit zuverlässigen Abspannisolatoren zu versehen oder zu erden.

Zur Herstellung von A-Masten (Abb. 150) verwendet man 2 Stangen, die durch 3/4-zöllige Schraubenbolzen zusammenzubolzen sind.

Abb. 153. K 1325
Konsolgestänge für 3 Isolatoren.

Damit in weichem Boden bei A-Masten der in der Richtung des Drahtzuges stehende Mast und bei Streben diese nicht in den Boden eingedrückt werden, legt man zweckmäßig einen flachen Stein unter das Fußende des Mastes oder den Fuß der Strebe.

Ist der Raum zur Aufstellung eines A-Mastes nicht vorhanden, so kann ein Doppelmast (gekuppelte Stangen) Verwendung finden. Hierzu werden 2 Maste dicht aneinander gestellt und durch 3/4-zöllige Bolzen, wie in Abb. 148 angegeben, miteinander verbunden.

Ist eine größere Anzahl von Leitungen an Masten oder Gestängen unterzubringen, so werden Isolatoren mit geraden Stützen auf Querträgern aus U-Eisen (Traversen) (Abb. 151) angeordnet, die mit Ziehbändern an den Masten oder Gestängen befestigt werden.

Zur Führung von Leitungen an Gebäuden entlang oder über Dächer verwendet man meist Rohrgestänge mit Konsolen, die

mittels Stein- oder Holzschrauben mit den Gebäuden verbunden werden. Entsprechende Ausführungen zeigen Abb. 153 und 154.

Bei der Anordnung von Konsolen oder Rohrständern ist darauf zu achten, daß die Leitungen von Dächern, Ausbauten, Fenstern und anderen von Menschen betretenen Stätten aus ohne besondere Hilfsmittel nicht zu erreichen sind.

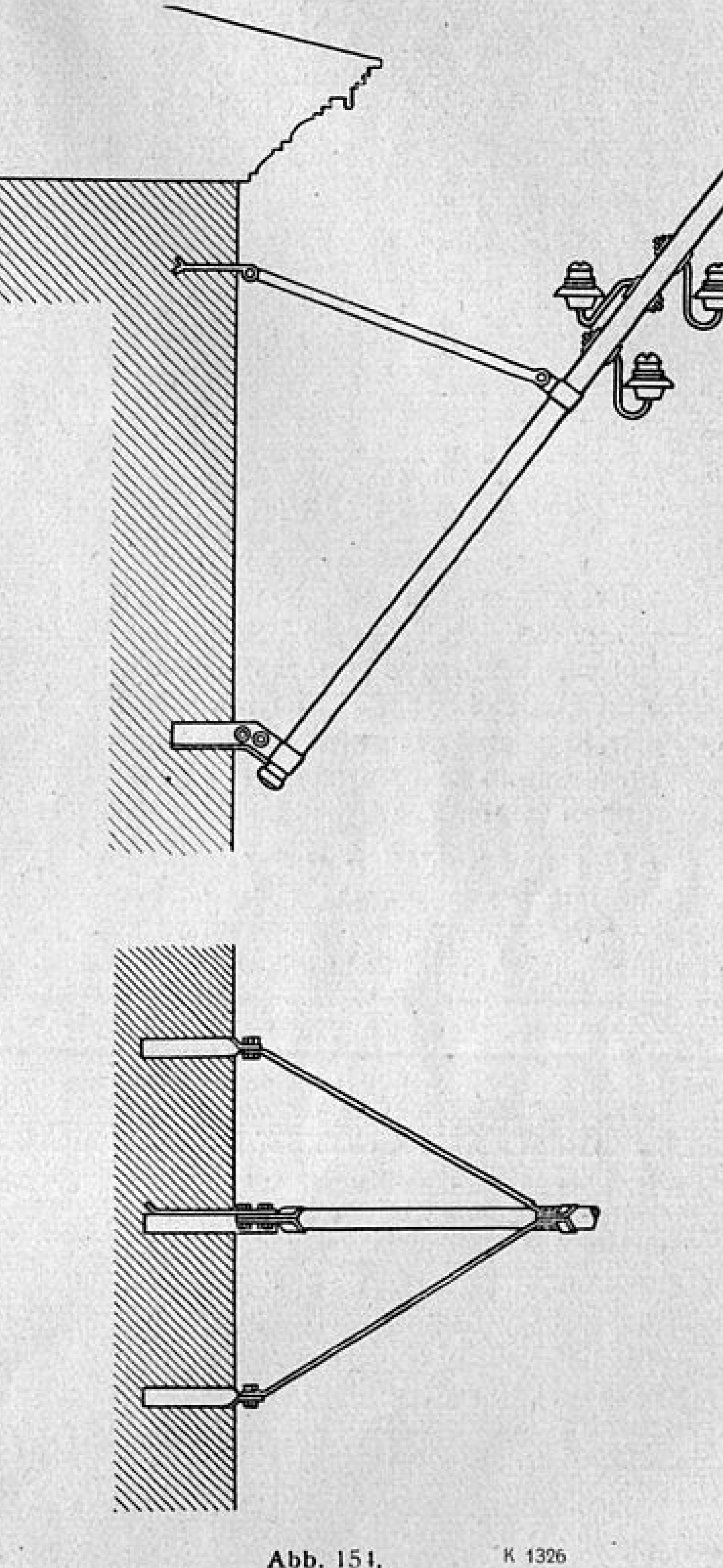


Abb. 151. K 1326
Fahnenstangen-Ausleger für 3 Isolatoren.

Mit der Verteilung und Auslegung des Leitungsmaterials soll erst begonnen werden, nachdem die Maste aufgestellt, die Konsole oder Rohrständer angebracht und alle Verstrebungen und Verankerungen fertig sind. Es ist jedoch täglich nur soviel Leitungsmaterial auszurollen, als für die jedesmalige Tagesarbeit gebraucht wird, damit Drahtdiebstähle vermieden werden.

Das Leitungsmaterial wird meist auf Trommeln oder bei kleineren Querschnitten in Ringen angeliefert. Beim Transport von Trommeln über unebenen Boden ist darauf zu achten, daß das Leitungsmaterial nicht beschädigt wird. Zum Ausrollen der Leitungen wird die Trommel auf eine Achse gesteckt und diese auf zwei Böcken so gelagert, daß sie sich drehen läßt. (Abb. 156). Um eine zu schnelle Drehung der Trommel zu verhindern, ist eine sicher wirkende Bremsvorrichtung vorzusehen. Zum Ausrollen des Drahtmaterials von Ringen verwendet man zweckmäßig Drahthaspeln nach Abb. 155.

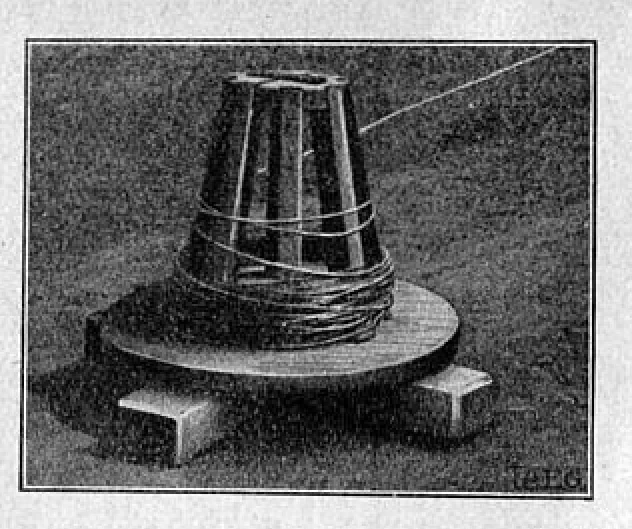


Abb. 155. K 1327
Drahtring auf einer Haspel.



Abb. 156. K 1328
Drahttrommel auf Windeböcken; Bremsholz unter der linken Wange.

Beim Abrollen ist streng darauf zu achten, daß keine Schlingen, Knoten, Schlaufen oder dergl. im Draht entstehen, da hierdurch die Festigkeit des Drahtes leidet und Veranlassung zu späteren Drahtbrüchen gegeben wird.

Um das Schleifen des Leitungsmaterials über steinigen Boden zu vermeiden, verwendet man, namentlich bei Aluminiumleitungen, zum Auslegen kleine, auf Kugellagern laufende Leitrollen (Abb. 157), die an die Querträger oder Stützen gehängt werden und über die der Draht oder das Seil geführt wird.

Beim Ausrollen kurzer Drahtstrecken kann von der Verwendung der Leitrollen abgesehen und der Draht auf der Erde ausgezogen werden; dann ist jedoch darauf zu achten, daß das Leitungsmaterial nicht auf dem Boden geschleift und besonders bei Wegübergängen von Fuhrwerken nicht überfahren wird. Es empfiehlt sich überhaupt, den Draht nach dem Ausrollen sogleich auf die Isolatoren aufzubringen.

Nach Beendigung des Auflegens der Leitungen auf die Isolatorenstützen ist mit dem Abbinden der Leitungen zu be-

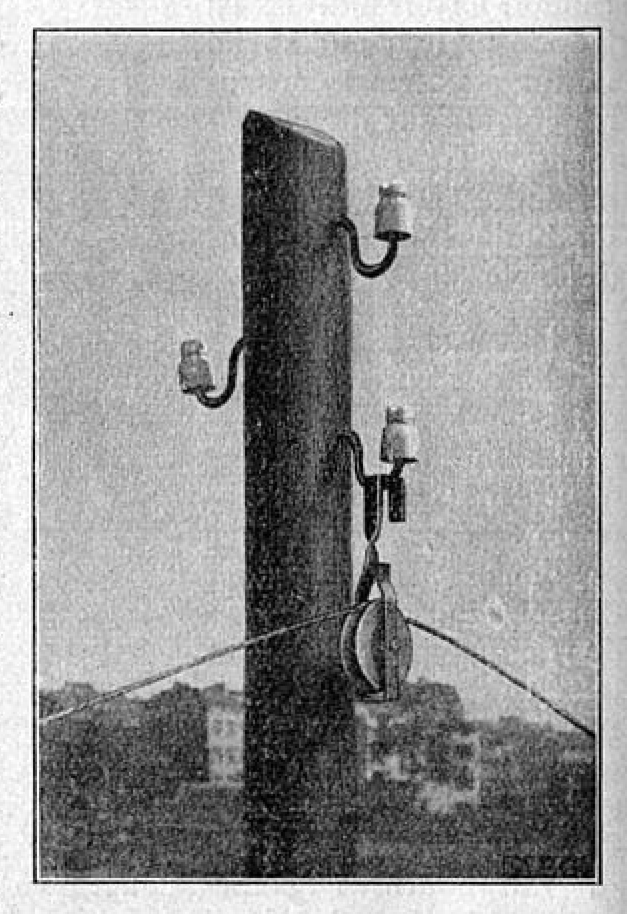


Abb. 157. K 1329
Führungsrolle für Aluminiumleitungen.

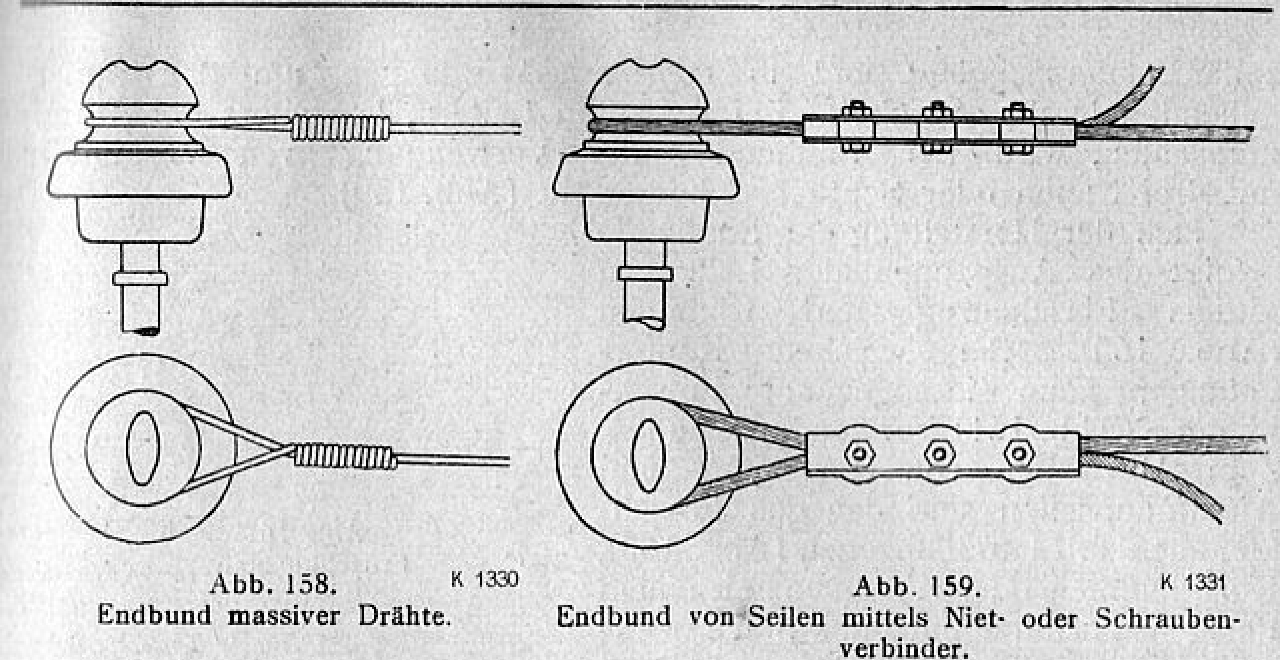


Abb. 158. K 1330
Endbund massiver Drähte.

Abb. 159. K 1331
Endbund von Seilen mittels Niet- oder Schraubenverbinder.

ginnen. Die Leitungen werden zunächst an einem Ende durch sogenannte Endbunde an den Isolatoren befestigt. Bei massiven Kupferleitungen wird der Draht nach Abb. 158 um den Hals des Por-

Abb. 160. Spannen der Leitungen mit dem Flaschenzug. K 1332

zellanisolators gelegt und in mehreren Windungen um den weitergehenden Draht gewickelt. Bei verseilten Leitern, besonders bei Aluminiumseilen, wird der Endbund unter Verwendung von Verbindern mit drei Nieten oder Schrauben hergestellt (Abb. 159).

Nach der Herstellung der Endbunde erfolgt das Anspannen der Leitungen mittels Flaschenzug und Klemmen (Abb. 160). Bei weichen Kupferleitungen kann die sogenannte Froschklemme (Abb. 161) Verwendung finden. Zum Abspannen von Hartkupfer- und Aluminiumseilen sind dagegen Froschklemmen mit Parallelbacken (Abb. 162), Holzklemmen oder Klemmen mit einem Belag aus Aluminium oder Blei zweckmäßig, die eine Beschädigung der Leitung ausschließen.

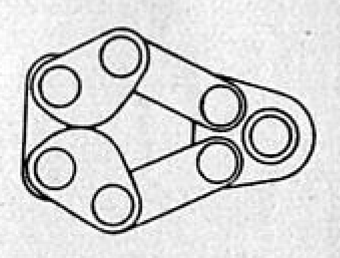


Abb. 161. K 1333
Froschklemme.

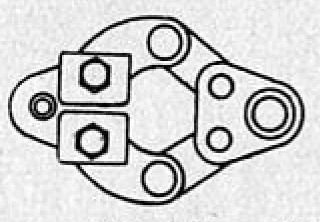


Abb. 162. K 1334
Froschklemme
mit Parallelbacken

Beim Spannen der Leitungen ist die Herstellung des richtigen Durchhanges sehr wichtig. Für die Festigkeitsberechnung von Freileitungen sind die **Normen für Starkstrom-Freileitungen** des V. D. E. maßgebend, welche angeben, wie stark die Leitungsdrähte höchstens gespannt werden dürfen, damit sie bei niedrigster Temperatur, bei Winddruck, Eis- und Schneebelastung nicht unzulässig beansprucht werden. Eine geringere Beanspruchung, also ein größerer Durchhang, ist jedoch zugelassen. Dieser wird sich immer dort empfehlen, wo Bedenken be-

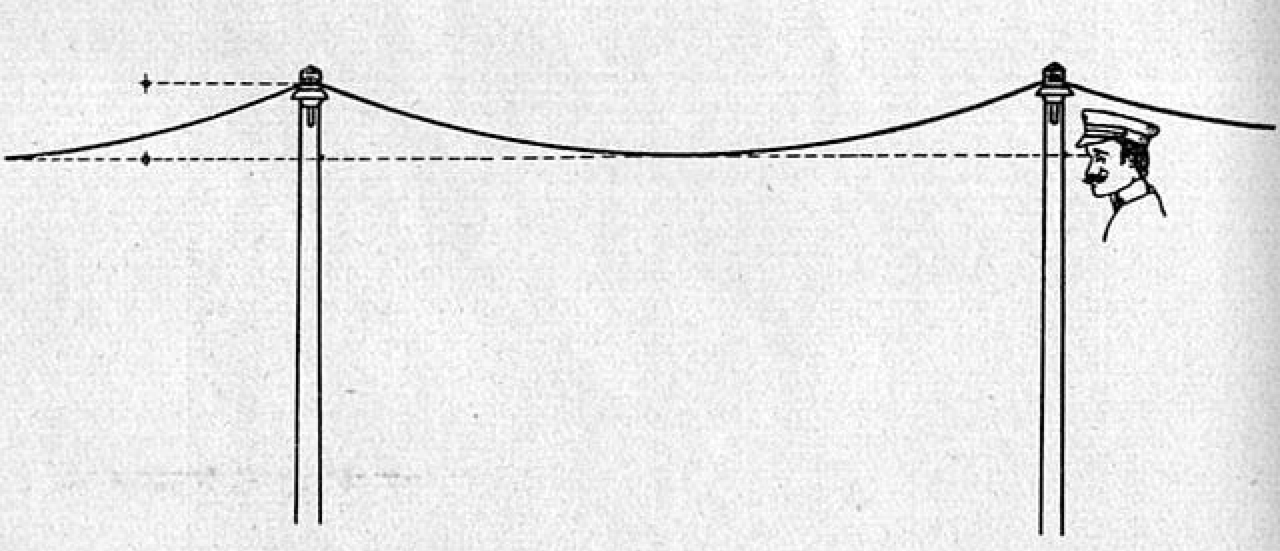


Abb. 163. Kontrolle des Durchhanges von Freileitungen. K 1335

stehen, ob die Stützpunkte stark genug sind, um die hohen Zugkräfte aufzunehmen, welche sich nach den Normen ergeben. Mit den hohen Zusatzbelastungen ist nur bei großen Spannweiten und kleinen Querschnitten, vor allem also bei ausgedehnten Fernleitungen zu rechnen.

Bei Niederspannungsfreileitungen in Stromverbrauchsanlagen und auch noch in kleinen Ortsnetzen handelt es sich meist um wenige Befestigungspunkte einer Leitungsstrecke mit unregelmäßigen Stützpunktabständen, die nur zum Teil aus Masten (meist Holzmasten), im übrigen aus Gebäudeteilen gebildet werden, welche sich im Verlauf der Leitung als Stützpunkte darbieten. Die Stützpunktabstände sind daher in der Regel nicht der freien Wahl überlassen und bewegen sich meist zwischen 30 und 50 m.

Zur Kontrolle des Durchhanges wird der in nachstehender Tabelle angegebene Wert an den Masten markiert; dann wird die Leitung so weit angespannt, bis der tiefste Punkt des Drahtbogens in die Visierlinie über die beiden an den Masten aufgetragenen Marken fällt (Abb. 163). In der Praxis hat sich hierbei ergeben, daß man die kleinsten Querschnitte aus Gründen des guten Aussehens straffer spannt als stärkere, jedoch sollten die Werte der Tabelle, welche die gebräuchlichsten Durchhänge wiedergibt, nicht unterschritten werden.

Sind mehrere Leitungen von gleichem Querschnitt neben- und untereinander zu verlegen, so kontrolliert man zunächst den Durchhang der obersten Leitung, alsdann kann man bei einiger Uebung die anderen Leitungen nach dem Augenmaß hierzu parallel spannen. Werden Leitungen verschiedener Querschnitte an dem gleichen Gestänge geführt, so gibt man ihnen ebenfalls den gleichen Durchhang, nämlich den der stärksten Leitung. Der seitliche Abstand der Leitungen soll nicht unter 40 cm bei 50 m Spannweite betragen.

Mindest-Durchhang von Niederspannungs-Freileitungen aus Kupfer.

Spannweite	Durchhang in cm bei + 10° C und Leitungsquerschnitten von qmm							bei + 25° für alle Querschnitte	bei — 10° für alle Querschnitte
m	10	16	25	35	50	70	95	größer um cm	kleiner um cm
30	30	30	30	40	50	60	70	6	12
40	40	40	40	50	60	70	80	8	16
50	60	60	60	60	70	80	90	10	20

Die Befestigung der Leitungen ist durch Halsbunde nach Abb. 164 herzustellen. Die Anwendung von Kopfbunden, bei denen die Leitung auf dem Kopf des Isolators ruht, ist im allgemeinen nicht zu empfehlen. Der Bindedraht soll stets aus demselben, bei Leichtmetallen aus möglichst gleichartigem Material bestehen, wie die Leitungen selbst. Bei einem Leitungsquerschnitt bis 50 qmm ist Bindedraht von 6 qmm zu verwenden, welcher bei Querschnitten bis 35 qmm 3 mal, bei 50 qmm 4 mal um den Isolator zu wickeln ist.

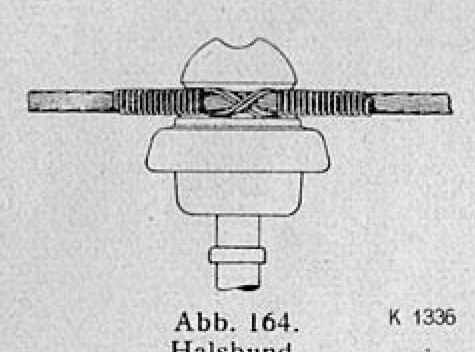


Abb. 164. Halsbund.

Arbeitsvorgang bei Herstellung eines Normalbundes.

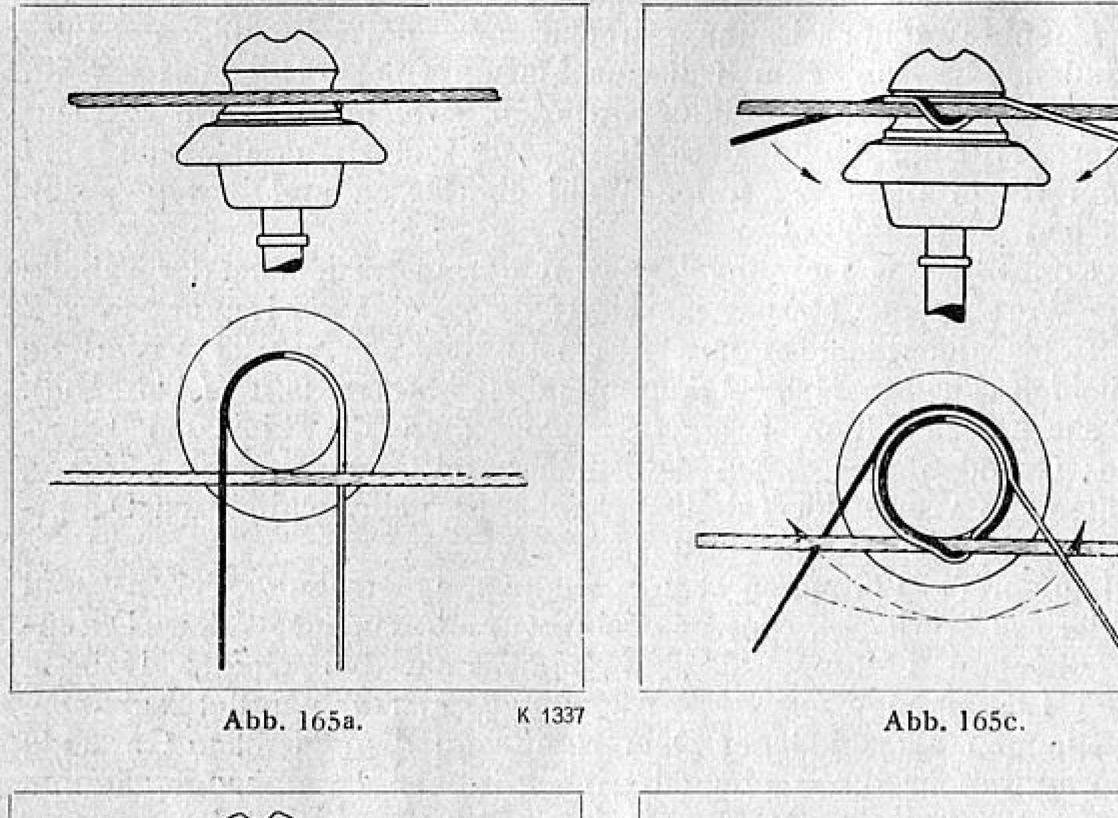


Abb. 165a. K 1337

Abb. 165c. K 1339

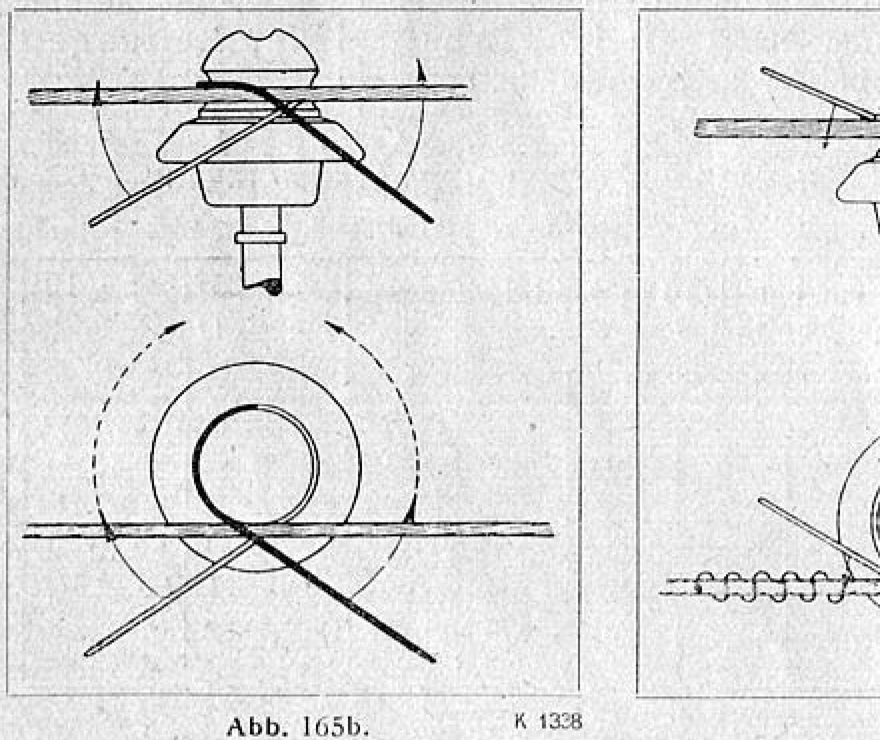


Abb. 165b. K 1338

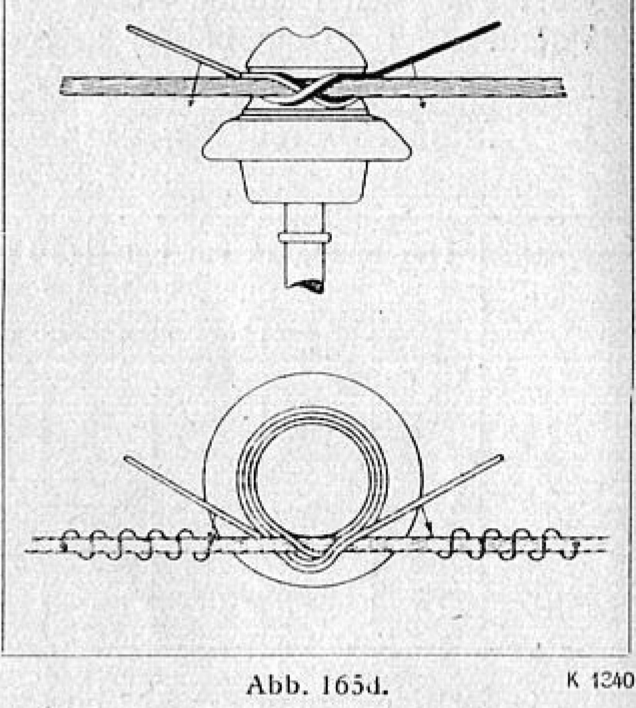


Abb. 165d. K 1340

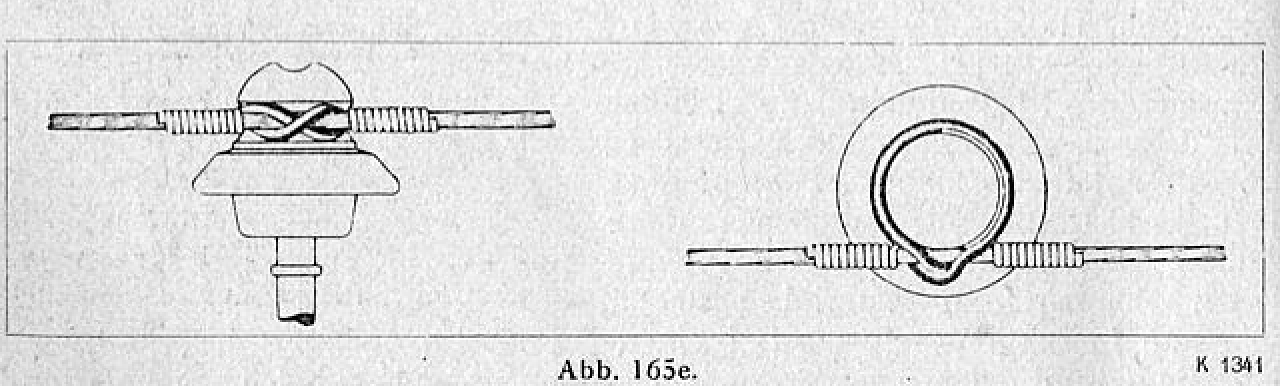


Abb. 165e. K 1341

Der Deutlichkeit wegen sind die Bindewindungen nebeneinander gezeichnet.

Bei den Leitungsquerschnitten von 70 bis 120 qmm ist Bindedraht von 10 qmm zu wählen, der bei 70 qmm 3 mal, bei 95 und 120 qmm 4 mal um den Isolator zu wickeln ist. Die Herstellung eines Normalbundes zeigen die Abb. 165a-f. Bei drei Windungen ist der Anfang wie in Abb. 165a, bei vier Windungen der Anfang wie in Abb. 165f angegeben zu machen. An Winkelpunkten ist darauf zu achten, daß der Isolator sich innerhalb des vom Leitungsdraht gebildeten Winkels befindet, damit der Leitungszug vom Isolator aufgenommen wird.

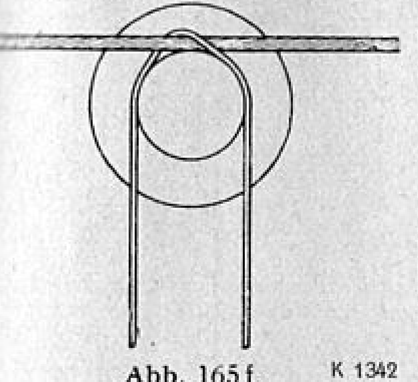


Abb. 165f. K 1342
Arbeitsbeginn für einen Bund, wenn der Bindedraht viermal um den Isolator zu wickeln ist.

Wird zur Herstellung von Isolatorenbunden der Mast mittels Steigeisen bestiegen, so hat der die Arbeit ausführende Monteur einen Rettungsgürtel anzulegen, mit dem er sich, oben am Mast ange-

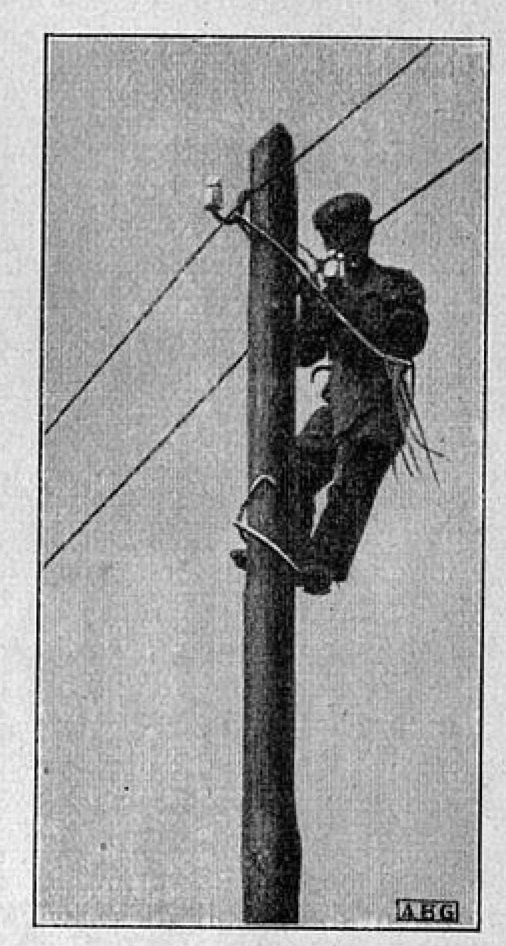


Abb. 166. K 1343
Abbinden der Leitung nach Besteigen des Mastes mittels Steigeeisen.

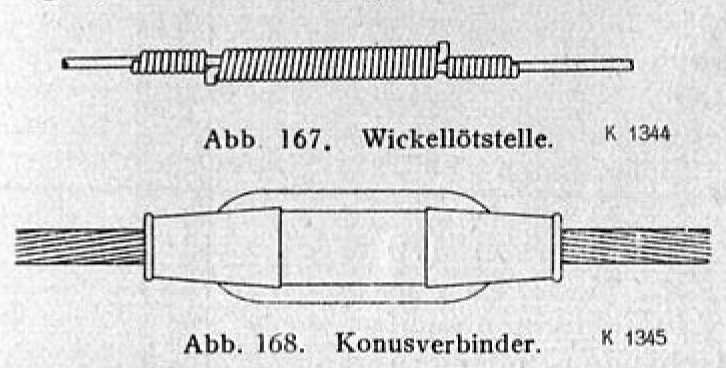
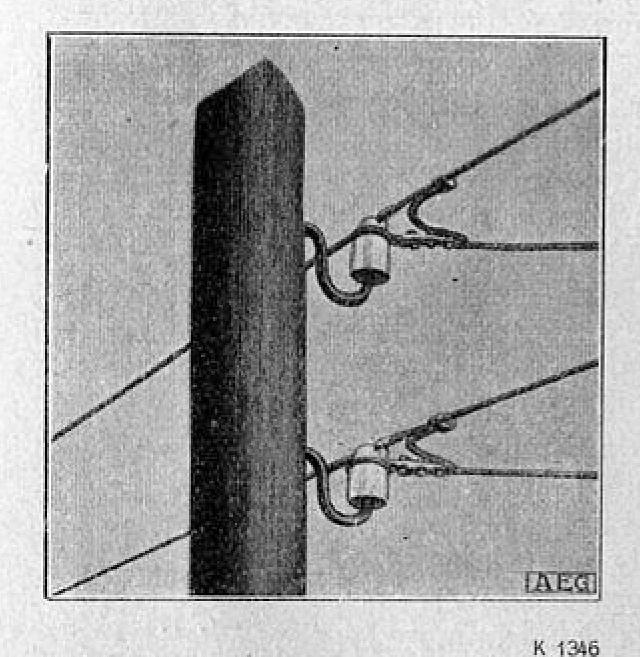
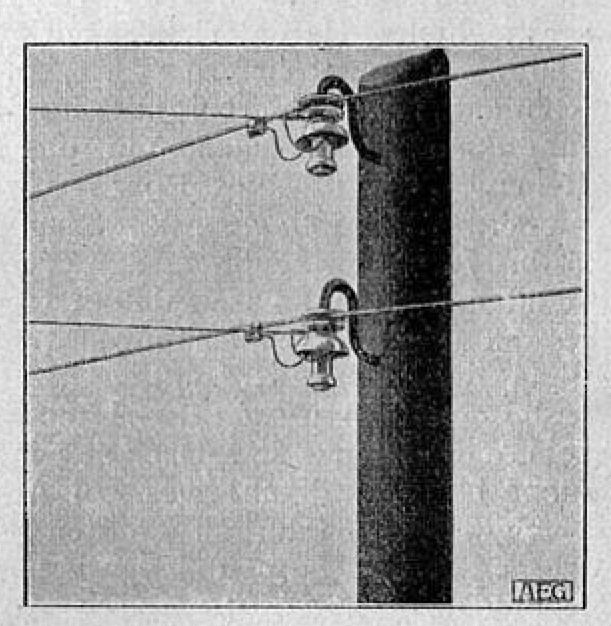


Abb. 167. Wickellötstelle. K 1344

Abb. 168. Konusverbinder. K 1345



K 1346
Abb. 169. Abzweig ohne Sicherungen.



K 1347
Abb. 170. Sicherungen im Freileitungsabzweig.

kommen, zuverlässig vor dem Herunterfallen zu sichern hat (Abb. 166).

Die Verbindung von weichgezogenen, blanken, massiven Kupferleitungen kann nach Abb. 167 durch Wickellötstellen hergestellt werden. Bei hart gezogenen massiven Kupferleitungen oder Seilen sind Lötungen unzulässig. Zur Verbindung werden vorteilhaft Niet- oder Schraubenverbinder, wie vorher in Abb. 159 angegeben, verwendet. Die Verbindung von Kupferseilen kann auch durch Verspleißen der Enden oder durch Konusverbinder nach Abb. 168 erfolgen.

Abzweigungen von Kupferleitungen werden zweckmäßig durch Klauenklemmen an den Isolatoren vorgenommen und müssen vom Zug entlastet sein. (Abb. 169.)

Bei Aluminiumabzweigungen, die nur durch Spezialkonstruktionen sicher hergestellt werden können, ist dafür zu sorgen, daß an den Verbindungsstellen der Zutritt von Feuchtigkeit durch einen haltbaren Lackanstrich verhindert wird. Ebenso sind bei Kupferabzweigungen von Aluminiumleitungen zweckmäßig Spezialkonstruktionen anzuwenden und die Verbindungsstellen durch einen Lackanstrich zu schützen.

Insoweit bei Abzweigungen von Freileitungen unter Querschnittsverminderung Sicherungen anzuordnen sind, soll dies, wenn es sich um Stromstärken bis 60 Amp. handelt, wie in Abb. 170 angegeben, geschehen.

Bei Uebergängen von Freileitungen auf Leitungen im Innern von Gebäuden oder zu senkrechten Herunterführungen sind isolierte Leitungen in Rohr zu verlegen. Die oberen Rohrenden sind hierbei mit entsprechenden Einführungen zu versehen, um das Eindringen von Regenwasser in die Rohre wirksam zu verhindern. Die richtige Anordnung an Masten zeigt Abb. 171 mit zweiteiligem Einführungskopf. Rohrständer müssen so ausgebildet sein, daß ein Berühren der blanken Leitungen vom Gebäude aus ohne besondere Hilfsmittel nicht möglich ist. Insbesondere müssen also Dachständer so hoch sein, daß man auf dem Dach stehend die Leitungen nicht berühren kann, was bei Arbeiten auf dem Dach leicht gefährlich werden könnte. Daher werden auf Dächern und dergl. häufig sehr lange Rohrständer nötig, die durch Ankerdrähte verstärkt werden müssen. Eine derartige Anordnung zeigt Abb. 152.

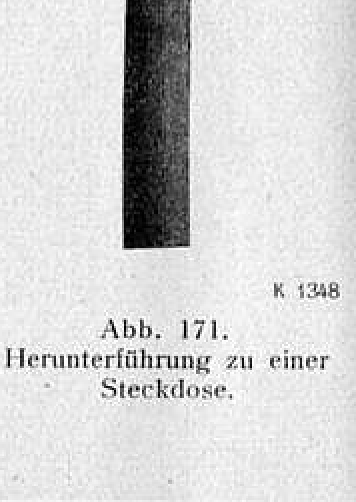


Abb. 171.
Herunterführung zu einer Steckdose.

MESSUNGEN

UND

MESSGERÄTE

I. Allgemeines.

Zur Kontrolle des Stromes und seines Weges wie zur Feststellung unzulässiger Betriebszustände sind Messungen notwendig. In Stromerzeugungsanlagen ist die Ueberwachung des erzeugten Stromes dauernd erforderlich, es empfiehlt sich aber, auch in Stromverbrauchs- oder Umwandlungsanlagen die jeweilige Belastung zu beobachten.

Es wird gemessen:

1. Die Stromstärke in Ampere (A)
2. Die Spannung in Volt (V)
3. Die Leistung in Kilowatt (kW)
4. Die Frequenz in Perioden in einer Sekunde (∿)
5. Die Blindleistung in Blindkilowatt (BkW)
6. Der Isolationswiderstand in Ohm (Ω)
7. Die Arbeit in Kilowattstunden (kWStd.).

Die Messungen zu 1. bis 4. werden in der Regel durch dauernd eingeschaltete Instrumente bewirkt. Die Messung zu 5. wird meist in der Form der Kontrolle des Leistungsfaktors vorgenommen, wobei nur das Verhältnis der Wirkleistung zur Scheinleistung festgestellt und hierdurch mittelbar das Maß der Blindleistung angegeben wird (siehe Seite 231). Die Messung des Isolationswiderstandes zu 6. wird meist durch vorübergehend angeschlossene Kontrollapparate ausgeführt, während für die Messung der Arbeit zu 7. Zähler verwendet werden. Im Gegensatz zu letzteren bezeichnet man die Apparate für die Messungen 1. bis 6. als eigentliche Meßinstrumente, wobei nach der inneren Konstruktion unterschieden werden:

a) elektromagnetische oder Weicheiseninstrumente für Gleich- und Wechselstrom,
b) Weicheisen-Präzisionsinstrumente für Gleich- und Wechselstrom,
c) Drehspulinstrumente nur für Gleichstrom,
d) ferrodynamische Instrumente für Gleich- und Wechselstrom.

Eine besondere Stellung in bezug auf das Prinzip der Betätigung nehmen die Leistungsfaktormesser ein, welche nach dem dynamometrischen System arbeiten, und die Frequenzmesser, bei welchen schwingende Zungen die Ablesung vermitteln. Mit Ausnahme der letzteren machen alle eigentlichen Meßinstrumente ihre Angaben, indem ein schwingender Zeiger auf einer Skalenteilung spielt; die Zähler dagegen haben Zählwerke mit springenden Ziffern, so daß nur das Resultat der Zählung, d. h. die Summe der Arbeit bis zum Augenblick der Ablesung, erkennbar ist. Daneben können die gebräuchlichen Meßinstrumente auch als registrierende (schreibende) Apparate ausgeführt werden, wobei der Zeiger seine jeweilige Lage auf einem Papierstreifen markiert, so daß beim Abrollen des durch ein Uhrwerk bewegten Papierstreifens eine Kurve entsteht, welche den Verlauf der zu messenden Größe wiedergibt.

II. Strommessungen.

Weicheiseninstrumente, auch Dreheisen- oder elektromagnetische Instrumente genannt, sind in der Anschaffung am billigsten, und kommen daher am meisten zur Verwendung. Sie beruhen auf der abstoßenden Wirkung gleichartig magnetisierter Eisenteile. Wie aus der Abb. 1 ersichtlich, stoßen sich zwei in einem Solenoid S (vom Meßstrom durchflossene Spule) konzentrisch angeordnete Zylindermantelsegmente A und B aus weichem Eisen, von denen das eine fest, das andere drehbar angeordnet ist und den Zeiger trägt, gegenseitig ab. Die Gegenkraft wird bei Instrumenten für senkrechte Montage durch Gewichte, für schräge Montage und bei tragbaren Instrumenten durch eine Feder F ausgeübt. Die Skala, siehe Abb. 2, ist eine ungleichmäßige und besonders im ersten Fünftel eng, so daß erst darüber hinaus eine genauere Ablesung möglich ist. Für Stromkreise, in denen mit kurzzeitigen Ueberlastungen zu rechnen ist, z. B. bei Motoren, Lichtbogenöfen usw., können die Strommesser mit erweiterter Skala nach Abb. 3 hergestellt werden. Die Instrumente werden hierbei zwecks Vermeidung von Beschädigungen des Meßorgans, so ausgeführt, daß sie das Dreifache des normalen Stromes während der Ueberlastung vertragen und auf der Skala, welche im Ueberlastungsteil sehr zusammengezogen ist, zur Ablesung bringen.

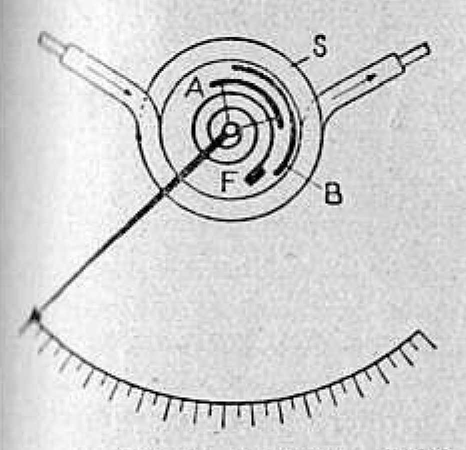


Abb. 1. Meßwerk eines Weicheiseninstrumentes. K 1349

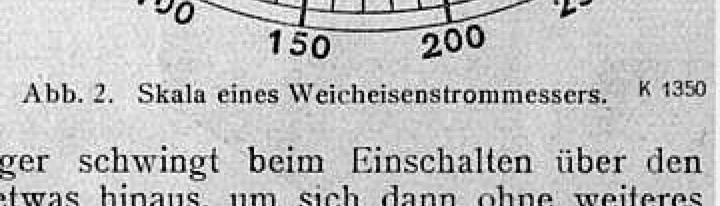


Abb. 2. Skala eines Weicheisenstrommessers. K 1350

Die Einstellung des Zeigers erfolgt infolge der Dämpfung fast aperiodisch, d. h. der Zeiger schwingt beim Einschalten über den eigentlichen Wert nur einmal etwas hinaus, um sich dann ohne weiteres Pendeln in die richtige Lage einzustellen. Dies wird durch eine Luftdämpfung erreicht, bei welcher sich ein Aluminiumflügel mit sehr geringem Spielraum in einer nahezu allseitig geschlossenen Luftkammer bewegt.

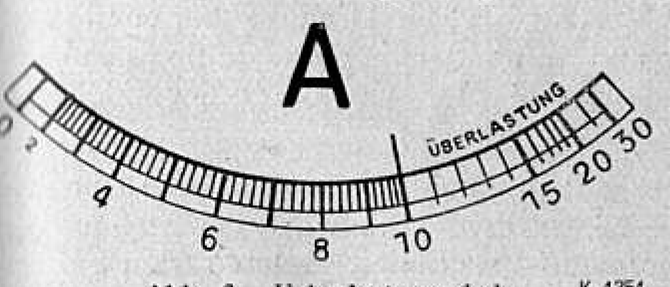


Abb. 3. Ueberlastungsskala eines Weicheisenstrommessers. K 1351

Weicheisenstrommesser werden sowohl für Gleich- als auch für Wechselstrom geliefert, erhalten jedoch je nach der Stromart eine andere Skala. Instrumente für beide Stromarten werden demnach mit 2 Skalen ausgeführt. Die Schalttafelstrommesser werden bis 750 Amp., die tragbaren Strommesser bis 100 Amp. ausgeführt. Für größere Stromstärken sind bei Gleich-

strom Drehspulinstrumente und bei Drehstrom Weicheisen-Strommesser für 5 Amp., die an Stromwandler angeschlossen werden, zu verwenden. Die Skalen der Strommesser werden hierbei entsprechend der primären Stromstärke des Stromwandlers geeicht. Näheres über Stromwandler siehe unter Anwendung der Meßwandler. Die Instrumente sind Betriebsmeßgeräte 1. Klasse (G).

Weicheisen-Präzisionsinstrumente besitzen das gleiche Meßsystem wie die Weicheiseninstrumente. Dasselbe ist jedoch so verbessert, daß diese Instrumente sehr oft als brauchbarer Ersatz für andere Präzisionsinstrumente dienen können. Die Instrumente besitzen eine vorzügliche Dämpfung und, wie aus Abb. 4 zu erkennen, eine früh beginnende, fast proportional verlaufende Skala. Letztere stimmt bei Strommessern bis 50 Amp. für Gleich- und Wechselstrom innerhalb der Periodenzahlen von 15—75 überein. Die Schalttafelstrommesser werden für Ströme bis 200 Amp., die tragbaren für Ströme bis 100 Amp. hergestellt. Für größere Stromstärken sind Instrumente für 5 Amp. in Verbindung mit Stromwandlern zu verwenden. (Siehe Anwendung von Meßwandlern). Die Instrumente sind Feinmeßgeräte 2. Klasse (F).

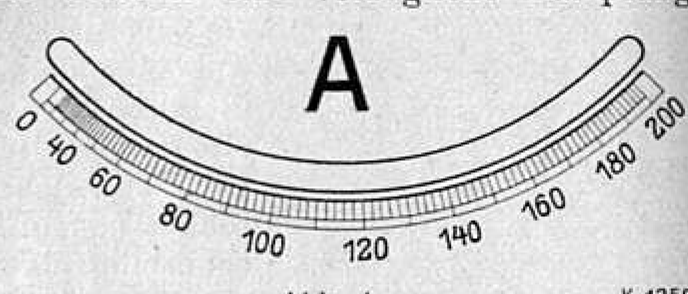


Abb. 4. K 1352
Skala eines Weicheisen-Präzisionsstrommessers.

Drehspulinstrumente nur für Gleichstrom sind nach dem Drehspulenprinzip (Deprez d'Arsonval bzw. Weston) gebaut, beruhen also auf der anziehenden und abstoßenden Wirkung eines Magneten auf eine stromführende Spule. In dem in Abb. 5 aus den Polschuhen eines permanenten Magneten und dem Eisenkern gebildeten Luftspalt ist eine leichte, rahmenförmige Spule senkrecht zum Kraftlinienfelde drehbar gelagert und wird durch Spiralfedern in einer bestimmten Nullage gehalten. Die Skala, Abb. 6, zeigt einen vollständig gleichmäßigen Verlauf, da die Drehung der Spule und somit der Zeigerausschlag proportional der sie durchfließenden Stromstärke ist.

Abb. 5. K 1353
Meßwerk eines Drehspulinstrumentes.

Der Konstruktion des Meßwerkes entsprechend kann die Spule nur von einem kleinen Strome durchflossen werden. Sie wird bei Strommessern parallel zu einem Nebenwiderstand geschaltet, welcher den zu messenden Strom führt. Die Strommessung beruht also auf der Messung des an den Klemmen des unveränderlichen Nebenwiderstandes auftretenden Spannungsverlustes, welcher in gleichem Verhältnis wie die Stromstärke steigt und bei allen Größen maximal den Wert von 60 Millivolt erreicht. Aus diesem Grunde können die Strommesser unter Ver-

wendung eines entsprechenden Nebenwiderstandes zur Messung der größten Stromstärken benutzt werden. Ein Drehspulstrommesser ist also nichts anderes als ein Millivoltmesser, welcher die an den Klemmen des Nebenwiderstandes herrschende geringe Spannungsdifferenz mißt, die durch den zu messenden Strom hervorgerufen wird. Bei der Montage der Instrumente ist demnach unbedingt zu beachten, daß nur der Nebenwiderstand in die stromführende Leitung geschaltet und der Strommesser selbst an die Klemmen des Widerstandes gelegt wird. Die Eichung erfolgt stets unter Berücksichtigung der 2 m langen Meßleitungen, welche mit dem Instrument geliefert und nicht verkürzt werden dürfen, um die Meßgenauigkeit nicht zu beeinflussen. Die Nebenwiderstände werden für kleine Stromstärken in das Gehäuse der Strommesser eingebaut, sonst aber getrennt geliefert, so daß das Meßinstrument dem Einfluß äußerer magnetischer Felder und in der Nähe befindlicher Starkstromleitungen oder größerer Eisenmassen praktisch entzogen ist. Die getrennte Anordnung hat außerdem noch den Vorteil, daß mit einem Strommesser in Verbindung mit mehreren Nebenwiderständen und einem Strommesser-Umschalter die Stromstärke in mehreren Leitungen gemessen werden kann.

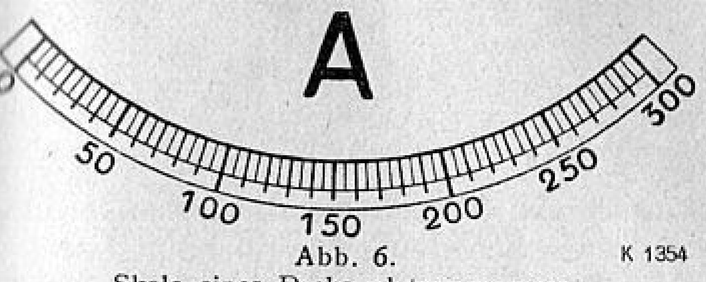


Abb. 6. K 1354
Skala eines Drehspulstrommessers.

Die Strommesser können mit Skala mit Nullpunkt in der Mitte ausgeführt werden. Diese Ausführung wird besonders in Akkumulatorenanlagen zur Feststellung des Lade- und Entladestromes, sowie in Dreileiteranlagen zur Messung des Nulleiterstromes verwendet. Im allgemeinen werden die Instrumente als Betriebsmeßgeräte 1. Klasse (G) geliefert, können aber auch ohne weiteres als Feinmeßgeräte 2. Klasse (F) und in tragbarer Ausführung sogar als Feinmeßgeräte 1. Klasse (E) ausgeführt werden.

III. Spannungsmessungen.

Weicheiseninstrumente für Spannungsmessungen werden mit dem gleichen Meßwerk wie die unter II beschriebenen Strommesser gebaut. Das Solenoid besteht jedoch nicht wie beim Strommesser aus wenig Windungen starken Drahtes, sondern aus vielen sehr dünnen Drahtwindungen, so daß das Instrument direkt an beide Pole gelegt werden kann und demnach für die Betätigung des Meßwerkes nur ein geringer Strom benötigt wird. Die Skala (Abb. 7), ist ebenfalls ungleichmäßig und auch je nach der Stromart verschieden, so daß Spannungsmesser für beide Stromarten zwei Skalen erhalten müssen. Die Instrumente sind Betriebsmeßgeräte 1. Klasse (G).

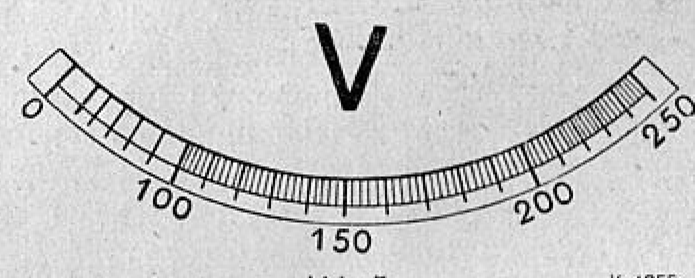


Abb. 7. K 1355
Skala eines Weicheisenspannungsmessers.

Weicheisen-Präzisionsinstrumente. Für diese Instrumente gilt das unter II Gesagte. Die Instrumente sind Feinmeßgeräte 2. Klasse (F).

Drehspulinstrumente nur für Gleichstrom sind als Spannungsmesser genau wie die unter II beschriebenen Strommesser konstruiert. Sie werden jedoch nicht an einen Nebenwiderstand, sondern direkt an die Leitungen angeschlossen, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll. Die Skala verläuft vollkommen gleichmäßig, wie Abb. 8 zeigt, und kann in Fällen, wo die Spannung in geringen Grenzen schwankt, bis zu $^2/_3$ der maximalen Spannungsgrenze unterdrückt werden. Ferner ist eine Lieferung der Instrumente mit Nullpunkt in der Mitte der Skala möglich. Klassenzeichen wie für Drehspul-Strommesser.

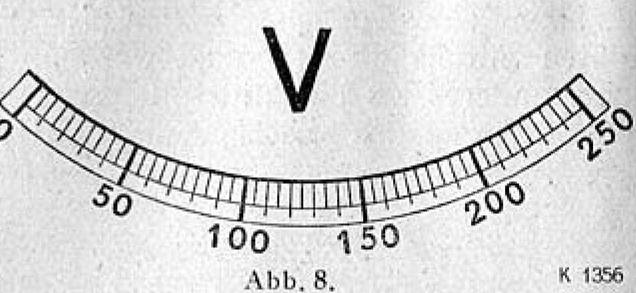


Abb. 8. K 1356
Skala eines Drehspulspannungsmessers.

IV. Leistungsmessungen.

Während Leistungsmesser in Gleichstromanlagen nicht erforderlich sind, da sich die Leistung aus dem Produkt von Stromstärke und Spannung ohne weiteres ergibt, ist ihre Verwendung in Wechsel- und Drehstromanlagen wegen der zwischen Stromstärke und Spannung in der Regel bestehenden Phasenverschiebung nicht zu umgehen. Bei induktionsfreier Belastung, wie z. B. Glühlampen, wird zwar keine Phasenverschiebung hervorgerufen, d. h. es verläuft Strom und Spannung in gleicher Phase, so daß der volle in den Leitungen fließende Strom wirksam ist. Sobald jedoch induktive Belastung, z. B. durch Motoren, auftritt, wird der Strom nacheilend gegen die Spannung verschoben. Es wirkt dann nicht mehr die volle Stromstärke, sondern nur noch die mit der Spannung in gleicher Phase verlaufende Komponente, welche sich durch Multiplikation mit dem Leistungsfaktor $\cos\varphi$ ergibt. Die von dem Wattmeter zu messende Wirkleistung stellen folgende Gleichungen dar:

für Einphasenstrom ist $N = E \cdot J \cdot \cos\varphi$
für Drehstrom $N = \sqrt{3} \cdot E \cdot J \cdot \cos\varphi$

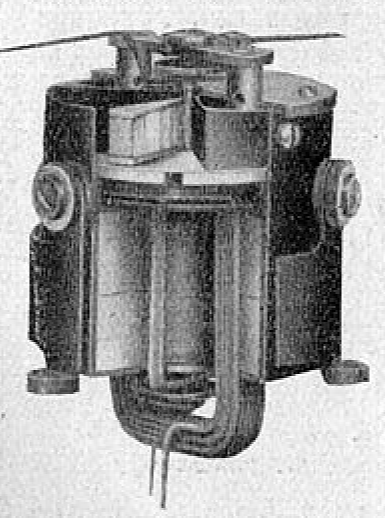


Abb. 9 K 1357
Meßwerk eines ferrodynamischen Instrumentes.

Ferrodynamische Instrumente gehören in die Gruppe der Elektrodynamometer und bestehen, wie Abb. 9 zeigt, aus einer festen Spule, in deren magnetischem Kraftlinienfelde eine zweite Spule drehbar angeordnet ist. Durch die feste Spule fließt der zu messende Strom, während die bewegliche Spule an die Spannung angeschlossen ist. Die von der Stromspule des Instruments erzeugten Kraftlinien verlaufen im wesentlichen in Eisen, wodurch einerseits die Drehkräfte bedeutend vergrößert werden und anderer-

seits der Einfluß äußerer magnetischer Felder oder von Starkstromleitungen auf die Messung verhindert wird. Die bewegliche Spule dreht sich in einem durch den Eisenkern und einen Eisenrückschlußring gebildeten Luftspalt. Mit dieser Spule ist ein Dämpferflügel, der in einer Luftkammer schwingt, fest verbunden, wodurch eine aperiodische Einstellung des Zeigers erzielt wird. Wie Abb. 10 zeigt, hat die Skala einen vollständig gleichmäßigen Verlauf.

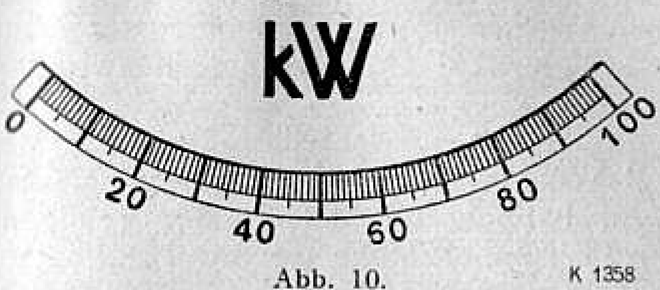


Abb. 10.
Skala eines ferrodynamischen Leistungsmessers.

Die ferrodynamischen Leistungsmesser werden sowohl für Einphasen-Wechselstrom als auch für Drehstrom mit gleich oder beliebig belasteten Phasen ausgeführt, und zwar für Ströme bis 200 Amp. Von etwa 50 Amp. ab ist jedoch die Verwendung von Stromwandlern der bequemeren Leitungsführung wegen zu empfehlen. In solchen Fällen sind Leistungsmesser für 5 Amp. zu wählen, welche mit einer dem Uebersetzungsverhältnis des Stromwandlers entsprechenden Skala versehen werden. Je nach der Gehäuseausführung wird für die Spannungsspule ein Vorwiderstand geliefert, welcher gewöhnlich an den Klemmen des Instruments befestigt wird. Im allgemeinen werden die Instrumente als Betriebsmeßgeräte 1. Klasse (G) geliefert, werden aber auch als Feinmeßgeräte 2. Klasse (F) hergestellt. Die tragbaren Instrumente werden ebenfalls in beiden Ausführungen geliefert.

Um die Leistung in einer Wechselstromleitung festzustellen, ist die Stromspule eines Wechselstrom-Leistungsmessers in eine der beiden Leitungen zu schalten und die Spannungsspule an beide Leitungen zu legen.

Zur Messung der Gesamtleistung in Drehstromanlagen mit **gleicher** Belastung der drei Phasen kann sowohl bei induktionsfreier als auch bei induktiver Belastung jeder normale Wechselstrom-Leistungsmesser benutzt werden. Hierbei ist nur erforderlich, die Schaltung derart auszuführen, daß das Instrument die Leistung einer Phase mißt. Die gesamte Leistung ist dann das Dreifache der Angabe des Leistungsmessers. Diese Schaltung bedingt jedoch das Vorhandensein des Nullpunktes, ist also bei Sternschaltung ohne weiteres anwendbar. Bei unzugänglicher Neutrale, sowie bei Dreieckschaltung muß mit Hilfe eines dreiteiligen Widerstandes ein künstlicher Nullpunkt geschaffen werden. Bei dem Anschluß des Instrumentes ist zu beachten, daß die Spannungsspule nicht an zwei Phasen, sondern stets an den Nullpunkt und diejenige Leitung gelegt wird, in welche die Stromspule geschaltet ist. In gleicher Weise ist der Drehstrom-Leistungsmesser für gleichbelastete Phasen anzuschließen. Es ist dies ein Wechselstrom-Leistungsmesser, der eine für Drehstrom geeichte Skala besitzt, welche eine unmittelbare Ablesung der Gesamtleistung aller 3 Phasen gestattet.

Ist der Nullpunkt nicht zugänglich und auch die Bildung eines solchen mangels eines Nullpunktwiderstandes nicht möglich, so kann ein Wechselstrom-Leistungsmesser für Messungen in Drehstromanlagen mit gleicher Phasenbelastung nur bei induktionsfreier Belastung verwendet werden. Hierbei ist die Spannungsspule des Instrumentes an diejenige Phase, in der die Stromspule liegt, und an eine der beiden anderen Phasen anzuschließen. Um die Gesamtleistung zu erhalten, ist die An-

gabe des Leistungsmessers mit 2 zu multiplizieren. Für induktive Belastung dagegen ist bei unzugänglichem Nullpunkt die Feststellung des Leistungsverbrauches mit nur einem Wechselstrom-Leistungsmesser nicht möglich, da infolge der Phasenverschiebung die Wirkleistungen zwischen den einzelnen Phasen verschieden sind.

In Drehstromanlagen mit **ungleicher** Phasenbelastung kann die Leistungsmessung entweder mit 2 Wechselstrom-Leistungsmessern oder einem Drehstromleistungsmesser für beliebig belastete Phasen erfolgen. Im ersten Falle werden die beiden Instrumente nach der Zweiwattmetermethode (Aronschaltung) angeschlossen. Die Spannungsspule jedes Leistungsmessers ist also zwischen die Leitung, in der die Stromspule liegt, und die freie dritte Leitung zu schalten. Durch Addition der Angaben beider Instrumente erhält man die Gesamtleistung. Bei induktionsfreier gleicher Belastung der drei Phasen ist der Ausschlag der beiden Leistungsmesser gleich groß. Handelt es sich aber um induktive Belastung, z. B. um die Feststellung der Leistungsaufnahme eines Elektromotors, so werden die angezeigten Werte der beiden Instrumente stets verschieden groß sein. Mit wachsender Phasenverschiebung, d. h. mit abnehmender Belastung des Motors, vergrößert sich diese Differenz, bis bei einer Verschiebung des Stromes gegen die Spannung um 60°, entsprechend einem Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}5$, der Zeiger des einen Leistungsmessers auf Null steht. Bei weiterer Entlastung des Motors wächst die Phasenverschiebung immer mehr, da der Magnetisierungsstrom nahezu unabhängig von der Belastung, bei Leerlauf also annähernd so groß wie bei Vollast ist. Der Ausschlag des betr. Leistungsmessers wird negativ und ist, um die tatsächliche Leistung zu erhalten, von der Angabe des zweiten Instrumentes in Abzug zu bringen. Ist eine negative Ablesung auf der Skala nicht möglich, so sind die Anschlußleitungen zu der Strom- oder der Spannungsspule zu vertauschen und der negative, abzuziehende Wert als positiver Ausschlag festzustellen. Ein Wechsel der Stromrichtung in der Spannungsspule ist empfehlenswerter, da hierbei eine Unterbrechung des Stromkreises nicht erforderlich ist. Diese Art der Leistungsmessung ist in der Praxis jedoch weniger gebräuchlich; bei ungleicher Phasenbelastung werden vielmehr Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen bevorzugt.

Der Drehstromleistungsmesser für beliebig belastete Phasen ist ein nach der Zweiwattmeterschaltung ausgeführtes ferrodynamisches Instrument. In diesem sind zwei Meßsysteme in einem Gehäuse vereinigt, deren Drehmomente auf eine gemeinsame Achse wirken und somit die Addition der in jedem System gemessenen Teilleistungen selbst vornehmen. Die flache Form erhält stets einen separaten Vorwiderstand, die hohe Form dagegen erst für Spannungen über 120 Volt, wobei zu bemerken ist, daß diese Vorwiderstände nicht am Instrument befestigt werden. Der Anschluß erfolgt in Anlagen ohne Nulleiter für Instrumente bis 50 Amp. direkt und über 50 Amp. nur unter Verwendung von 2 Stromwandlern. Im letzteren Falle ist der Leistungsmesser für 5 Amp. bemessen und besitzt eine Skala, bei welcher dem Uebersetzungsverhältnis der Stromwandler Rechnung getragen ist. Der tatsächliche Verbrauch kann also am Instrument unmittelbar abgelesen werden.

In Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen und belastetem Nulleiter kann zur Feststellung der Gesamtleistung ein normaler Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen nicht verwendet werden. Obwohl die Skala für Drehstrom geeicht ist, wäre die Angabe des Instrumentes

trotzdem nicht richtig, da für die Messung nur der Strom zweier Phasen benutzt wird, während der bei einer ungleichen Belastung der drei Phasen durch den Nulleiter zurückfließende Differenzstrom unberücksichtigt bleibt. Zwischen den Angaben des Instrumentes und des etwa vorhandenen Zählers würden sich also stets Differenzen ergeben. Die genaueste Leistungsmessung in Drehstromanlagen mit Nulleiter wird mit Hilfe von 3 Wechselstrom-Leistungsmessern durchgeführt, deren Stromspulen in den 3 Phasen liegen und deren Spannungsspulen jeweils an die betreffende Phase und den Nulleiter angeschlossen werden. Die Addition der Angaben der 3 Instrumente ergibt die Gesamtleistung. Diese Art der Messung ist wegen der Verwendung von 3 Instrumenten jedoch recht umständlich und kostspielig. Die AEG fertigt daher auch Leistungsmesser für beliebig belastete Phasen an, bei welchen um die beiden Stromspulen eine dritte Stromspule gelegt ist. Diese Instrumente gestatten eine direkte Ablesung der Gesamtleistung. Sie werden jedoch nur für Stromstärken bis 5 Amp. ausgeführt und kommen daher fast ausschließlich in Verbindung mit 3 Stromwandlern zur Verwendung.

V. Frequenzmessungen.

Die Frequenzmesser dienen zur Messung der Periodenzahl des Drehstroms und werden insbesondere beim Parallelschalten (Synchronisieren) von Drehstromgeneratoren benutzt. Eine Reihe von Metallzungen ist so abgestimmt, daß nur diejenige Zunge durch den zugehörigen Elektromagnet in Schwingung gesetzt wird, deren Eigenschwingungszahl der Frequenz des Drehstromes entspricht. Die Ablesung erfolgt unmittelbar durch Beobachtung der nebeneinander liegenden Enden der Zungen, also nicht durch Zeiger. Zum Synchronisieren benutzt man zweckmäßig Doppelfrequenzmesser, bei denen 2 Zungenreihen die gleichzeitige Beobachtung der beiden abzustimmenden Frequenzen gestatten.

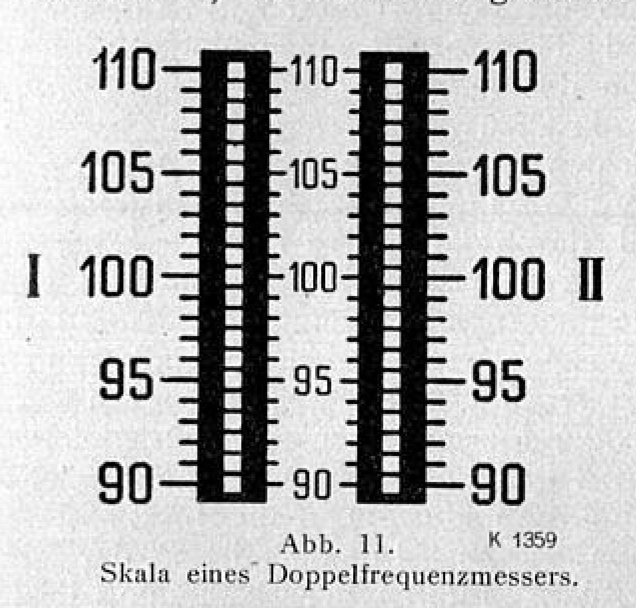


Abb. 11.
Skala eines Doppelfrequenzmessers.

VI. Messung des Leistungsfaktors.

Erklärung des Leistungsfaktors.

Bekanntlich ist jeder in einer Dynamomaschine erzeugte Strom ein Wechselstrom, d. h. er pulsiert, je nachdem sich die Spule des Ankers an einem Nordpol oder Südpol der Maschine vorbeibewegt, zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert hin und her, wechselt also fortwährend seine Richtung. Dasselbe gilt natürlich auch von der Spannung, unter welcher der Strom in den Ankerspulen entsteht. Während nun bei den Gleichstrommaschinen der Strom durch den Kollektor gleichgerichtet, d. h. durch die Bürsten immer von denjenigen Lamellen ent-

nommen wird, welche die positiven und negativen Höchstwerte besitzen, wird er von den Wechselstrommaschinen in der erzeugten pulsierenden Art vermittels der Schleifringe und Bürsten an das Netz abgegeben. Der Stromverlauf wird am besten durch eine Welle (Abb. 12) dargestellt.

Abb. 12. K 1360
Verlauf eines Wechselstroms.

Solange es sich um induktionsfreie Belastung, wie z. B. durch Glühlampen handelt, verläuft die Spannung in gleicher Phase mit der Stromstärke, sie erreichen also zu gleicher Zeit ihre Höchst- und Nullwerte.

Kommt jedoch, wie in den weitaus meisten Fällen, induktive Belastung (Motoren, Transformatoren) hinzu, so wird nach Abb. 13 der Strom J gegen die Spannung E nacheilend verschoben, d. h. er erreicht seine Höchst- und Nullwerte immer etwas später als die Spannung. Diese Verschiebung bezeichnet man allgemein durch den Phasenverschiebungswinkel φ. Sie wird hervorgerufen durch den Magnetisierungsstrom, den z. B. Motoren und Transformatoren zu ihrer Erregung benötigen. Je größer der Magnetisierungsstrom im Verhältnis zur abgegebenen Leistung ist, desto größer ist auch die Nacheilung des in der Leitung fließenden Stromes gegen die Spannung. Dieser Fall ist besonders bei wenig belasteten Motoren und Transformatoren gegeben, da ihr Magnetisierungsstrom nur wenig von der Belastung abhängt, bei Leerlauf also annähernd so groß wie bei Vollast ist.

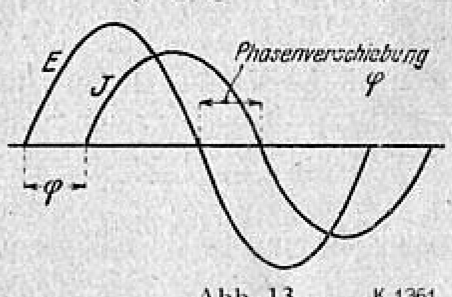


Abb. 13. K 1361
Nacheilende Verschiebung des Stromes zur Spannung bei induktiver Belastung.

Schließlich gibt es auch noch den umgekehrten Fall, daß der Strom der Spannung nicht nacheilt, sondern voreilt, also seinen Höchstwert vor der Spannung erreicht. Dies wird durch kapazitive Belastung hervorgerufen, wie sie durch Kabel und durch bestimmte Motoren und Umformer gebildet wird. Die voreilende Phasenverschiebung, gemessen durch Winkel φ, wirkt auf die nacheilende ausgleichend, so daß man durch künstliche kapazitive Belastung den Folgen der induktiven entgegenwirken kann.

Da mit wachsender nacheilender Phasenverschiebung in gleichem Verhältnis auch die Stromstärke trotz gleichbleibender Leistung wächst, ist eine schlechte Ausnutzung von Motoren ungünstig, denn von 2 Motoren gleicher Leistung hat derjenige die größte Stromaufnahme, der eine größere Phasenverschiebnng verursacht. Infolge der Nacheilung leistet nämlich nicht mehr der volle in der Leitung fließende und von dem Strommesser gemessene Strom (Scheinstrom) nutzbare Arbeit, sondern nur noch derjenige Teil, welchen man sich in gleicher Phase mit der Spannung fließend denkt. Dieser Teil des Stromes heißt der Wirkstrom und wird bezüglich seiner Größe durch den Leistungsfaktor $\cos\varphi$ festgelegt. Es ist also, wenn mit J der vom Strommesser gemessene Scheinstrom bezeichnet wird, der

$$\text{Wirkstrom } J_w = \text{Scheinstrom} \cdot \text{Leistungsfaktor} = J \cdot \cos\varphi.$$

Der zweite Teil des Scheinstromes, der Magnetisierungsstrom, ist der Spannung stets um 90° nacheilend zu denken. Dieses ist derjenige Teil, welcher die Verschiebung zwischen Spannung und Schein-

strom verursacht, und wird, da er keine Arbeit leistet, der Blindstrom genannt. Seine Größe wird durch die Bezeichnung

$$\text{Blindstrom } J_b = \text{Scheinstrom} \cdot \sin \varphi = J \cdot \sin \varphi$$

ausgedrückt.

Diese drei Ströme stehen also in einem ganz bestimmten Verhältnis zueinander, welches gegeben ist durch die Formel

$$J = \sqrt{(J \cdot \cos \varphi)^2 + (J \cdot \sin \varphi)^2}.$$

Die Werte $\cos \varphi$ und $\sin \varphi$ schwanken, entsprechend der Größe des Phasenverschiebungswinkels φ, im umgekehrten Verhältnis zwischen 0 und 1, d. h. bei einem Winkel von 0^0 ist $\cos \varphi = 1$ und $\sin \varphi = 0$, während bei dem größten Verschiebungswinkel von 90^0 $\cos \varphi = 0$ und $\sin \varphi = 1$ ist. Wie hieraus hervorgeht, wird mit wachsender Phasenverschiebung der Wirkstrom kleiner und der Blindstrom größer. In welchem Verhältnis diese Änderung erfolgt, geht aus der folgenden Tabelle 1 hervor, in welcher für die verschiedenen Werte von $\cos \varphi$ die entsprechenden Werte von $\sin \varphi$ bei gleichbleibendem Scheinstrom angegeben sind. Außerdem ist daraus ersichtlich, daß bei unverändertem Scheinstrom entsprechend der Formel für die Drehstromleistung

$$N = 1{,}73 \cdot E \cdot J \cdot \cos \varphi$$

die Leistung in gleichem Verhältnis wie der $\cos \varphi$ kleiner wird. Andererseits läßt die Tabelle erkennen, daß mit abnehmendem $\cos \varphi$, also zunehmender Phasenverschiebung, die prozentualen Stromwärmeverluste, bezogen auf die jeweilige Leistung, immer größer werden, da diese Verluste, in Watt ausgedrückt, immer die gleiche Größe haben.

Beispiel 1. Eine Leistung von $N = 19$ kW bei $\cos \varphi = 1$ und 220 Volt soll auf eine Entfernung von 200 m übertragen werden, Leitungsquerschnitt $q = 70$ qmm Kupfer.

Dann ist der prozentuale Leistungsverlust

$$p = \frac{100 \cdot L \cdot N}{k \cdot q \cdot E^2 \cdot \cos^2 \varphi} = \frac{100 \cdot 200 \cdot 19\,000}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 1 \cdot 1} = 2\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{2 \cdot 19\,000}{100} = 380 \text{ Watt.}$$

Beispiel 2. Bei gleichbleibendem Scheinstrom soll bei $\cos \varphi = 0{,}4$ die entsprechend kleinere Leistung unter sonst gleichen Verhältnissen übertragen werden.

Die Leistung ist

$$N = 19\,000 \cdot 0{,}4 = 7600 \text{ Watt}$$

$$\text{und somit } p = \frac{100 \cdot 200 \cdot 7600}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4} = 5\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{5 \cdot 7600}{100} = 380 \text{ Watt.}$$

Während also der Leistungsverlust in Watt in beiden Fällen der gleiche ist, muß er, prozentual ausgedrückt, im Beispiel 2 größer sein, da hier die zu übertragende Leistung nur 40% derjenigen im Beispiel 1 beträgt. Er ist im Beispiel 2 das $5 : 2 = 2{,}5$ fache desjenigen im Beispiel 1, was dem in der Tabelle in der letzten Rubrik unter $\cos \varphi = 0{,}4$ angegebenen Werte entspricht.

Tabelle 1. Verhältnis von Wirkstrom zu Blindstrom bei Aenderung der Phasenverschiebung.

$\cos\varphi$	Verschiebungswinkel φ	Bei gleichbleibendem Scheinstrom				
		Verhältnis der Ströme zueinander			Änderung der Leistung auf %	Steigerung des prozentualen Leistungsverlustes infolge Stromwärme auf das fache
		Wirkstrom $J \times \cos\varphi$ (in % des Scheinstromes)	Blindstrom $J \times \sin\varphi$ (in % des Scheinstromes)	Scheinstrom J		
1	0^0	100	0	100	100	1
0,95	18^0 10′	95	31,2	100	95	1,05
0,9	25^0 50′	90	43.6	100	90	1,11
0,85	31^0 50′	85	52,7	100	85	1,18
0,8	36^0 50′	80	60	100	80	1,25
0,75	41^0 20′	75	66.1	100	75	1,33
0,7	45^0 30′	70	71,4	100	70	1,43
0,65	49^0 30′	65	76	100	65	1,54
0,6	53^0 10′	60	80	100	60	1,67
0,55	56^0 40′	55	83.5	100	55	1,82
0,5	60^0	50	86,6	100	50	2
0,45	63^0 20′	45	89,3	100	45	2,22
0,4	66^0 30′	40	91,7	100	40	2,5
0,35	69^0 30′	35	93,7	100	35	2,86
0,3	72^0 30′	30	95.4	100	30	3,33
0,25	75^0 30′	25	96.8	100	25	4
0,2	78^0 30′	20	98	100	20	5
0,15	81^0 20′	15	98,9	100	15	6,67
0,1	84^0 20′	10	99.5	100	10	10

Den ungünstigen Einfluß des Blindstromes auf den in den Leitungen fließenden Scheinstrom zeigt noch besser die nachstehende Tabelle 2, in welcher der Wirkstrom bzw. die Leistung bei verschiedenen Werten von $\cos\varphi$ als gleichbleibend angenommen wurde. Hinsichtlich des Stromwärmeverlustes geht aus derselben deutlich hervor, daß dieser Verlust quadratisch mit der Zunahme des Scheinstromes wächst. Während z. B. bei einer Aenderung des $\cos\varphi$ von 1 auf 0,8 der Scheinstrom von 100 auf 125, also auf das 1,25 fache gestiegen ist, hat der Stromwärmeverlust bereits den $1{,}25 \cdot 1{,}25 = 1{,}56$ fachen Wert erreicht; ferner ist bei $\cos\varphi = 0{,}5$ der Scheinstrom auf das Doppelte und der Stromwärmeverlust auf das 4 fache angewachsen.

Beispiel 3. Die im Beispiel 1 angegebene Leistung von N = 19 kW soll bei $\cos\varphi = 0{,}4$ und sonst gleichen Verhältnissen übertragen werden.

Es ist dann

$$p = \frac{100 \cdot 200 \cdot 19000}{56 \cdot 70 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 0{,}4 \cdot 0{,}4} = 12{,}5\%$$

$$\text{entsprechend } \frac{12{,}5 \cdot 19000}{100} = 2375 \text{ Watt.}$$

Dieser Verlust stellt das 6,25 fache des im Beispiel 1 errechneten Wertes dar, während, wie aus der Tabelle hervorgeht, der Scheinstrom auf das 2,5 fache gestiegen ist.

Tabelle 2. Verhältnis von Scheinstrom zu Blindstrom bei Aenderung der Phasenverschiebung.

cos φ	Verschiebungswinkel φ	Bei gleichbleibendem Wirkstrom und Leistung				
		Verhältnis der Ströme zueinander			Leistung	Steigerung des Leistungsverlustes infolge Stromwärme auf das fache
		Wirkstrom J × cos φ	Blindstrom J × sin φ	Scheinstrom J		
			in % des Wirkstromes		%	
1	0°	100	0	100	100	1
0,95	18° 10′	100	33,0	105,3	100	1,11
0,9	25° 50′	100	48,4	111,1	100	1,23
0,85	31° 50′	100	61,9	117,6	100	1,38
0,8	36° 50′	100	75,0	125	100	1,56
0,75	41° 20′	100	88,1	133,3	100	1,78
0,7	45° 30′	100	102,1	142,9	100	2,04
0,65	49° 30′	100	116,9	153,8	100	2,37
0,6	53° 10′	100	133,3	166,7	100	2,78
0,55	56° 40′	100	151,8	181,8	100	3,31
0,5	60°	100	173,2	200	100	4
0,45	63° 20′	100	198,4	222,2	100	4,94
0,4	66° 30′	100	229,1	250	100	6,25
0,35	69° 30′	100	267,6	285,7	100	8,16
0,3	72° 30′	100	317,9	333,3	100	11,11
0,25	75° 30′	100	387,3	400	100	16
0,2	78° 30′	100	490	500	100	25
0,15	81° 20′	100	659	667	100	44,4
0,1	84° 20′	100	995	1000	100	100

Die Phasenverschiebung hat auf die Ausnutzung eines Kraftwerkes einen recht ungünstigen Einfluß. Der nacheilende Blindstrom, in der Regel die Folge schlecht belasteter Motoren, schwächt das Magnetfeld der Generatoren, so daß die Spannung sinkt. Der Erregerstrom muß also verstärkt werden, um die Spannung wieder auf die normale Höhe zu bringen. Dies ist aber wegen der größeren Erwärmung der Erregerwicklung und der für die Erregung zur Verfügung stehenden begrenzten Leistung nur bis zu einem gewissen Grade möglich. Außerdem ist die Grenze der Belastung von Generatoren die Betriebsstromstärke (Amp.), nicht die Leistung (kW). Ihre Leistung wird also bei schlechtem Leistungsfaktor kleiner. Wie aber oben erläutert, ist der Leistungsverlust abhängig vom Scheinstrom, also trotz der kleineren Leistung sehr groß und demnach ein verhältnismäßig großer Aufwand von mechanischer Energie erforderlich, um diesen Verlust in dem Leitungsnetz zu decken. Infolgedessen kann bei einem ständig schlechten Leistungsfaktor die Wirtschaftlichkeit des ganzen Elektrizitätswerkes wesentlich herabgesetzt werden.

Aus diesem Grunde sind die Elektrizitätswerke zum Teil dazu übergegangen, den Leistungsfaktor in den Stromtarifen zu berücksichtigen, und zwar derart, daß ein bestimmtes Verhältnis von Blindstrom und

Wirkstrom für die betreffende Anlage vorgeschrieben wird. Zu dieser Feststellung werden außer den normalen Wattstundenzählern noch sogenannte Blindstromzähler seitens des Werkes aufgestellt. Ergibt sich dann das Verhältnis des entnommenen Blindstromes zum Wirkstrom günstiger, als im Vertrage festgesetzt, so wird für jedes weniger verbrauchte Blindkilowatt eine bestimmte Summe vergütet, während im andern Falle außer dem Rechnungsbetrage noch ein besonderer Zuschuß erhoben wird. Dadurch hat jeder Stromabnehmer das größte Interesse, durch möglichst gute Ausnutzung der Motoren die Phasenverschiebung seiner Anlage klein zu halten. In vielen Betrieben wird jedoch ein ständiger Betrieb der Motoren mit ihrer vollen Leistung wegen der Eigenart der Arbeitsmaschine nicht immer möglich sein. Die dann anzuwendenden Mittel sind im Abschnitt Motoren ausführlich behandelt.

Die Ermittelung des Leistungsfaktors kann auf drei Arten erfolgen, und zwar:

mittels Strom-, Spannungs- und Leistungsmessers,
mittels Strom- und Blindstrommessers ($J \cdot \sin \varphi$-Messer),
mittels direkt zeigenden Phasenmessers ($\cos \varphi$-Messer).

Ermittelung mittels Strom-, Spannungs- und Leistungsmessers.

In Anlagen, in denen eine ständige Kenntnis der Phasenverschiebung nicht erforderlich, sondern nur eine zeitweise Kontrolle derselben erwünscht ist, erübrigt sich der Einbau eines Phasenmessers, da aus den Angaben der im allgemeinen vorhandenen Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser der Leistungsfaktor $\cos \varphi$ errechnet werden kann. Dies erfolgt nach der Formel

$$\cos \varphi = \frac{N}{1{,}73 \cdot E \cdot J}$$

worin bedeutet:

N die vom Leistungsmesser angezeigte Leistung in Watt.
E die vom Spannungsmesser angezeigte Spannung in Volt.
J die vom Strommesser angezeigte Stromstärke in Amp.

Die Ablesung der drei Instrumente ist zu gleicher Zeit vorzunehmen.

Beispiel: In einer Drehstromanlage sind durch Ablesung der Instrumente folgende Werte festgestellt worden: $N = 12000$ Watt, $E = 380$ Volt, $J = 25$ Amp. Wie groß ist der Leistungsfaktor?

$$\cos \varphi = \frac{12000}{1{,}73 \cdot 380 \cdot 25} = 0{,}73.$$

Ermittelung mittels Strom- und Blindstrommessers.

Als Blindstrommesser zur Messung des Blindstromes $J \cdot \sin \varphi$ in Drehstromanlagen werden ferrodynamische Instrumente verwendet, deren Konstruktion unter „Leistungsmessungen" bereits näher erläutert wurde. Sie sind normale Einphasenleistungsmesser, welche unter Berücksichtigung der verketteten Spannung in Amp. geeicht werden, die aber auch zur Messung der Blindleistung eine in Blindkilowatt (BkW) geeichte Skala erhalten können (Abb. 14). Die Instrumente werden

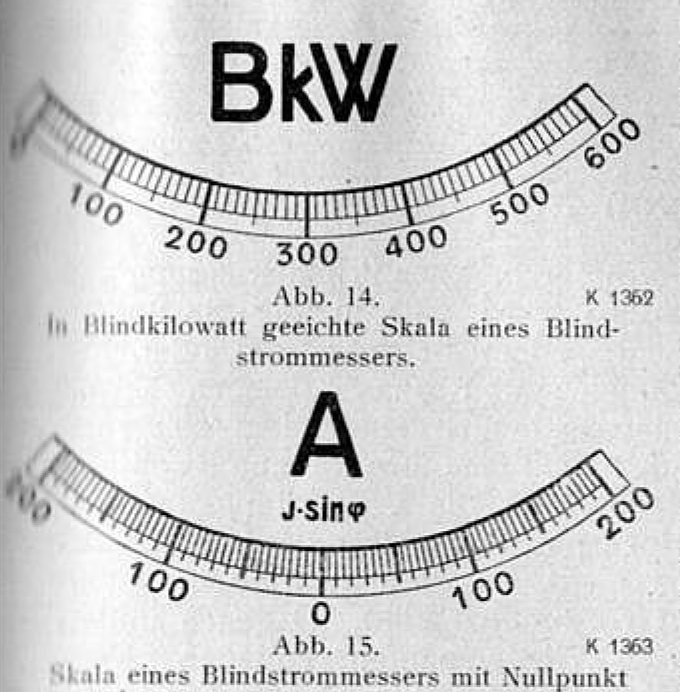


Abb. 14. K 1362
In Blindkilowatt geeichte Skala eines Blindstrommessers.

Abb. 15. K 1363
Skala eines Blindstrommessers mit Nullpunkt in der Mitte.

sowohl mit einseitigem Zeigerausschlag als auch mit Nullpunkt in der Mitte (Abb. 15) ausgeführt, so daß eine Ablesung des Blindstromes nach beiden Richtungen möglich ist. Bei dem Anschluß des Instrumentes ist zu beachten, daß die Stromspule in eine der drei Zuleitungen geschaltet wird, während die Spannungsspule an die anderen beiden Leitungen zu legen ist.

Zur Errechnung des Leistungsfaktors aus den Angaben des Blindstrommessers ist außerdem noch die Größe des Scheinstromes J erforderlich, welche zu gleicher Zeit durch Ablesung des Strommessers zu ermitteln ist.

Dann ergibt sich
$$\cos \varphi = \sqrt{\frac{J^2 - (J \cdot \sin \varphi)^2}{J^2}}.$$

Beispiel: Es sei der Scheinstrom $J = 12{,}5$ Amp.,
der Blindstrom $J \cdot \sin \varphi = 7{,}5$ Amp.,

dann ist $\cos \varphi = \sqrt{\frac{156{,}25 - 56{,}25}{156{,}25}} = 0{,}8.$

Messung mittels direkt zeigenden Phasenmessers (Leistungsfaktormesser).

Obwohl diese Instrumente wegen der direkten Angabe des Leistungsfaktors den Blindstrommessern gegenüber einen wesentlichen Vorteil besitzen, kommen sie mit Rücksicht auf den verhältnismäßig hohen Anschaffungspreis weniger zur Verwendung. Sie bestehen aus einer Anzahl fest angeordneter Spannungsspulen, welche drehend auf eine bewegliche Stromspule wirken. Der Zeigerausschlag ist nur der zu messenden Phasenverschiebung proportional und unabhängig von der jeweiligen Größe der Stromstärke, der Spannung und der Frequenz. Die Einteilung der Skala erfolgt entweder in Graden oder direkt in Werten von $\cos \varphi$. Eine übliche Skalenausführung ist in Abb. 16 dargestellt. Zwecks Ablesung der Phasenverschiebung für voreilende (kap.) und nacheilende (ind.) Belastung werden die Instrumente auch mit Nullpunkt in der Mitte angefertigt. Die Schaltung ist so auszuführen, daß die Stromspule in eine der drei Leitungen geschaltet und die Spannungsspule an die beiden anderen Leitungen angeschlossen wird.

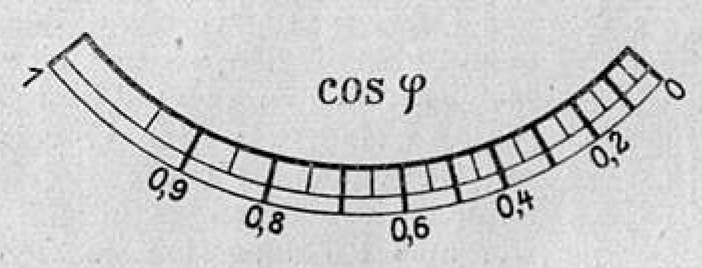


Abb. 16. K 1364
Skala eines Leistungsfaktormessers.

VII. Verwendung von Meßwandlern.

Meßwandler sind kleine Transformatoren, deren Primärwicklung von dem zu messenden Strome durchflossen wird und in der Sekundärwicklung einen zur Messung geeigneten, dem Betriebsstrom oder der Betriebsspannung möglichst proportionalen und phasengleichen Strom erzeugen. Die Primär- und Sekundärwicklungen sind elektrisch vollständig voneinander getrennt, so daß lediglich eine magnetische Kupplung besteht. Dementsprechend ist ihr Hauptzweck die Vermittlung des Anschlusses von Meßinstrumenten an Hochspannungsanlagen. Für Gleichstrom besteht ein ähnliches Bedürfnis nicht, da diese Instrumente ohne weiteres für Spannungen bis 600 Volt verwendbar sind. Dagegen finden Stromwandler auch in Wechselstrom - Niederspannungsanlagen Verwendung, wenn es sich darum handelt, sehr große Stromstärken in leicht meßbare herabzusetzen.

Stromwandler.

Stromwandler müssen während des Betriebes sekundär durch angeschlossene Meßinstrumente oder eine Kurzschlußvorrichtung (PL Nr 70998/99) kurzgeschlossen sein. Anderenfalls treten im Sekundärstromkreis infolge der hohen Induktion beträchtliche Erwärmungen auf, die zur Beschädigung der Wandler führen können. Auch kann bei größeren primären Stromstärken die Spannung an den offenen Sekundärklemmen eine gefährliche Höhe erreichen. Zum Schutze gegen Beschädigungen durch Ueberspannungen werden zweckmäßig bei Betriebsspannungen über 4000 Volt, insbesondere bei ausgedehnten Netzen, parallel zur Primärwicklung induktionsfreie Widerstände aus Karborundum, Ueberbrückungswiderstände, gelegt.

Stromwandler werden in Abstufungen nach der primären Stromstärke geliefert, während die Sekundärwicklung stets für 5 Amp. gewickelt ist. Das Verhältnis der primären höchsten Betriebsstromstärke zur sekundären Stromstärke von 5 Amp. ist das Uebersetzungsverhältnis des Stromwandlers. Dieses ist genau abgeglichen, so daß eine Eichung gemeinsam mit den Meßinstrumenten nicht erforderlich ist. Die primären Anschlüsse sind, wie Abb. 17 zeigt, mit L und die sekundären mit l bezeichnet. Diese Bezeichnungen haben noch einen Zahlenindex, deren natürliche Aufeinanderfolge einen bestimmten Richtungssinn in den Wicklungen erkennen läßt. Insbesondere ist bei dem Anschluß von Wattmetern oder Zählern darauf zu achten, daß die Leitungen l_1 und l_2 an die entsprechenden Klemmen der Instrumente geführt werden. Muß aus räumlichen Gründen der Einbau des Stromwandlers in die Schaltanlage so bewirkt werden, daß die vom Generator kommende Leitung an die Klemme L_2 statt an L_1 angeschlossen werden muß, und so die Stromrichtung in der Primärwicklung umgekehrt ist, dann müssen auch die zu den Instrumenten führenden

Abb. 17. Schaltung und Klemmbezeichnung eines Stromwandlers.

Leitungen l_1 und l_2 vertauscht werden, um eine richtige Messung zu erhalten. Ein Pol der Niederspannung sowie das Gehäuse sind an der Erdungsschraube E zu erden, wodurch verhindert werden soll, daß bei plötzlich auftretenden Durchschlägen die Meßschaltung gefährliche Spannungen annimmt.

An die Stromwandler können in der Regel mehrere Instrumente gleichzeitig angeschlossen werden. Soll der Uebersetzungsfehler 1% nicht überschreiten, so darf der höchste sekundäre Gesamtspannungsverbrauch aller angeschlossenen Instrumente einschließlich des Spannungsabfalles in den Zuleitungen für die einzelnen Stromwandlertypen nicht mehr als in nachstehender Tabelle in der Rubrik „Belastung normal in Volt“ angegeben betragen.

Belastung der Stromwandler.

Art der Isolation	Betriebsspannung Volt	Serie	Type	Belastung normal Volt	Belastung maximal Volt	Belastung dauernd zulässig VA
Luft	1100	0	C L	3	4	20
	3000	I	C L_1			
	1100	0	P L	6	8	40
	3000	I	P L_1			
Füllmasse	3000	I	C F_1	3	4	20
	6000	II	C F_2			
	13000	III	C F_3			
	3000	I	P F_1	6	8	40
	6000	II	P F_2			
	13000	III	P F_3			
Oel	13000	III	UA4	8	12	40

Der höchste Spannungsverbrauch der für den Anschluß an Stromwandler bestimmten 5-Amp.-Instrumente, Zähler und Relais ist aus folgender Tabelle zu entnehmen. Für Auslösemagnete Type Mz und Md dürfen nur Stromwandler mit einer zulässigen normalen Belastung von 6 Volt, Type P oder U, verwendet werden. Der gleichzeitige Anschluß von Instrumenten ist jedoch nur bei Verwendung von Zeitsicherungen gestattet. Der Spannungsverbrauch der Auslösemagnete ist dann bei Feststellung des Gesamtspannungsverbrauches zu vernachlässigen.

Spannungswandler.

Im Gegensatz zu den Stromwandlern dürfen Spannungswandler niederspannungsseitig, wenn keine Instrumente angeschlossen sind, nie direkt kurzgeschlossen werden.

Als normale Sekundärspannung gilt für Spannungswandler 100 Volt. Die Primärwicklung wird für die in der Preisliste angegebenen normalen Betriebsspannungen ausgeführt und ist stets ein Vielfaches von 100. Dieses Verhältnis der Primär- zur Sekundärspannung ist das Uebersetzungsverhältnis.

Eigenverbrauch der Instrumente.

(Für die Auswahl der Stromwandler.)

Instrumente		Art der Instrumente	Max. Spannungsverbrauch bei 5 Amp. Volt
Strommesser		Weicheisen-	0,3
		Registrier-, Form G	1
		Registrier-, Form Rm	1,5
Leistungsmesser		Ferrodynamische	1
		Registrier-, Form G, pro Stromspule . .	1
		Registrier-, Form Rm, pro Stromspule .	1
Phasenmesser		Elektrodynamische	1,6
Zähler		Induktions-	0,4
Relais PL Nr	69043	Sofort wirkendes Ueberstromrelais . . .	2
	69036G	Unabhängiges Ueberstrom-Zeitrelais mit Zeitmagnet für Gleichstrom	1,5
	69005	Abhängiges Ueberstrom-Zeitrelais, Form A (Auslösezeit sinkt schnell mit wachsendem Strom)	4
	69007	Desgl. Form B (Auslösezeit umgekehrt proportional dem Strom	5
	69006	Rückstrom-Zeitrelais für Drehstrom . .	1,8

Die Spannungsmesser werden bei Anschluß an Spannungswandler für 120 Volt gewählt und erhalten eine Skala, auf der dem Uebersetzungsverhältnis des Spannungswandlers Rechnung getragen ist (Abb. 18).

Abb. 18. K 1365

Skala eines Weicheisen-Spannungsmessers für Anschluß an einen Spannungswandler für 6000/100 Volt.

Die Spannungswandler werden einphasig und dreiphasig hergestellt. Abb. 19 zeigt den Anschluß und die Klemmenbezeichnung eines einphasigen Spannungswandlers. Zur Umwandlung von Drehstrom werden entweder dreiphasige Wandler, deren Schaltung Abb. 20 angibt, oder zwei einphasige Wandler in V-Schaltung benutzt. Letztere Anordnung (Abb. 21) ist besonders für Leistungsmessungen in Drehstromanlagen mit ungleicher Belastung der einzelnen Phasen zu empfehlen. Die beiden Wandler können hierbei getrennt montiert werden, sind aber auch in einem Gehäuse vereinigt lieferbar.

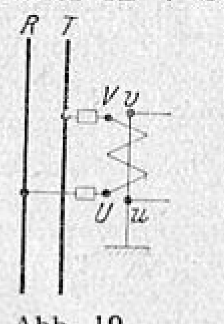


Abb. 19. Schaltung und Klemmenbezeichnung eines Einphasenspannungswandlers.

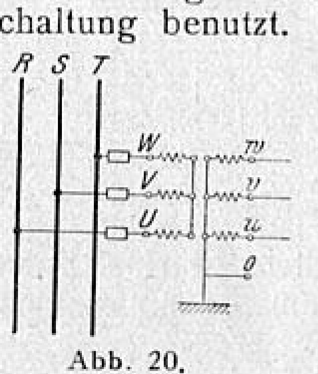


Abb. 20. Schaltung und Klemmenbezeichnung eines Drehstromspannungswandlers.

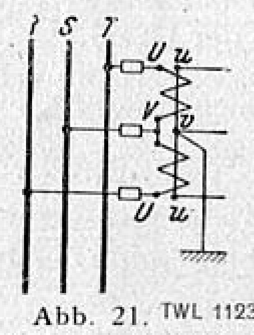


Abb. 21. TWL 11239 Schaltung und Klemmenbezeichnung von 2 Einphasenspannungswandlern in V-Schaltung.

Um zu verhindern, daß die Sekundärwicklung gefährliche Spannungen annimmt, empfiehlt es sich, die Wandler an der mit E bezeichneten Erdungsschraube zu erden. Während bei einphasigen Wandlern die Erdung einpolig erfolgt, wird sie bei Drehstrom-Spannungswandlern im Nullpunkt vorgenommen, welcher bei allen derartigen Wandlern sekundär herausgeführt ist.

Die Spannungswandler sind hochspannungsseitig mit Sicherungen zu versehen, damit sie bei eigenen Defekten oder sekundärem Kurzschluß vom Hochspannungsnetz abgeschaltet werden. Hierfür werden durch Glasrohre geschützte Streifensicherungen verwendet. Um die Spannungswandler gegen sekundäre Ueberlastung zu schützen, empfiehlt sich außerdem die Verwendung von Niederspannungssicherungen, und zwar sind alle Sekundärleitungen zu sichern, die nicht geerdet sind. Hierfür genügen im allgemeinen Sicherungen mit Schraubstöpsel für 2 Amp.

Die Belastungsfähigkeit der Spannungswandler und der Eigenverbrauch der an diese anzuschließenden Instrumente geht aus nachstehenden beiden Tabellen hervor.

Belastung der Spannungswandler.

Art der Isolation	Betriebsspannung bis Volt	Type	Anzahl der Phasen	Belastung in VA	
				bei einem Fehler von ± 1.5 %	höchstens
Luft	3000	ES 1	1	20	100
		DS 1	3	3 × 10	3 × 50
	4000	Wnl 1	1	75	700
		Dnl 1	3	3 × 60	3 × 300
	8000	Wnl 2	1	75	800
		Dnl 2	3	3 × 60	3 × 350
Öl	13000	Wno 3	1	75	1000
		Dno 3	3	3 × 60	3 × 500
	15000	FWM 15000	1	100	300
		FDM 15000	3	170	500

Eigenverbrauch der Instrumente.

(Für die Auswahl der Spannungswandler)

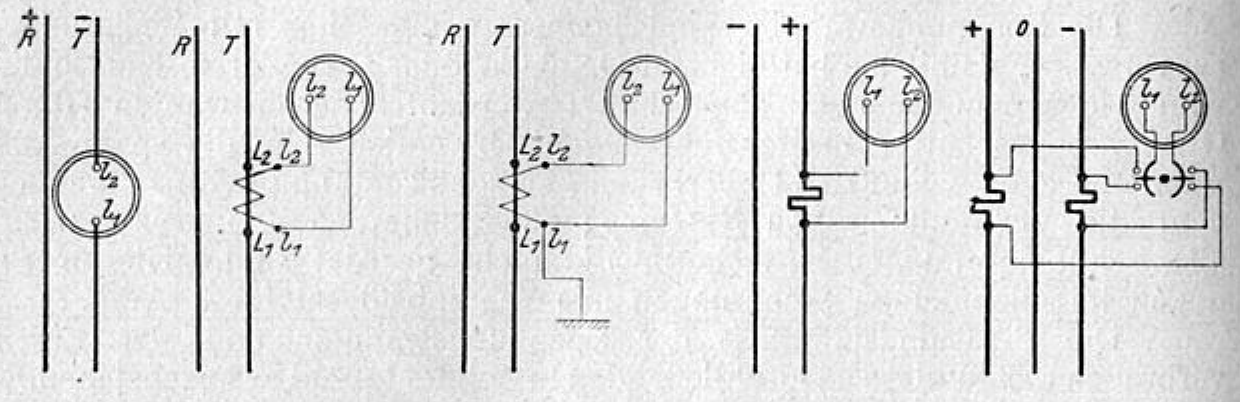
Instrumente	Art der Instrumente	Verbrauch bei 110 Volt ca. Voltampere
Spannungsmesser	Weicheisen-	10
	Präzisions-Weicheisen-	12
	Registrier-, Form G	14
	Registrier-, Form Rm	15
Leistungsmesser mit 1 System	Ferrodynamische	6
	Registrier-, Form G	14
	Registrier-, Form Rm	5
Leistungsmesser mit 2 Systemen	Registrier-, Form G	2 × 7
	Registrier-, Form Rm	2 × 5
Phasenmesser	Elektrodynamische	6,6
Zähler	Induktions-	3—5
Magnete	Nullspannungs-	45—55

VIII. Schaltungen von Meßinstrumenten.

Schaltung von Strommessern.

Weicheisen- und Weicheisen-Präzisions-strommesser für Gleich- und Wechselstrom.

Drehspul-Strommesser nur für Gleichstrom.



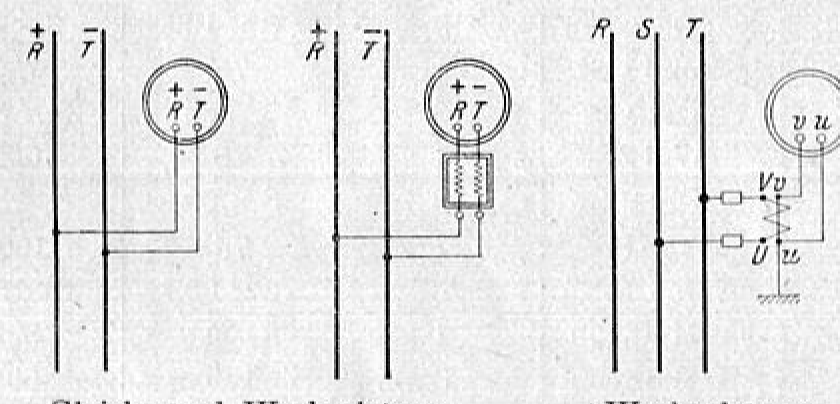
Gleich- u. Wechsel-strom | Wechselstrom höherer Strom-stärken | Wechselstrom-Hochspannung | Normale Schaltung | Mit Umschalter für 2 Stromkreise

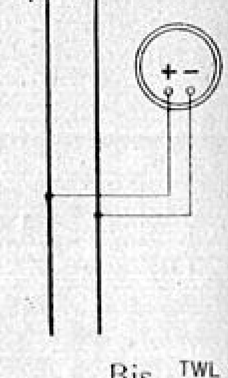
TWL 11240

Schaltung von Spannungsmessern.

Weicheisen- und Weicheisen-Präzisions-Spannungs-messer für Gleich- und Wechselstrom

Drehspul-Spannungsmesser nur für Gleichstrom

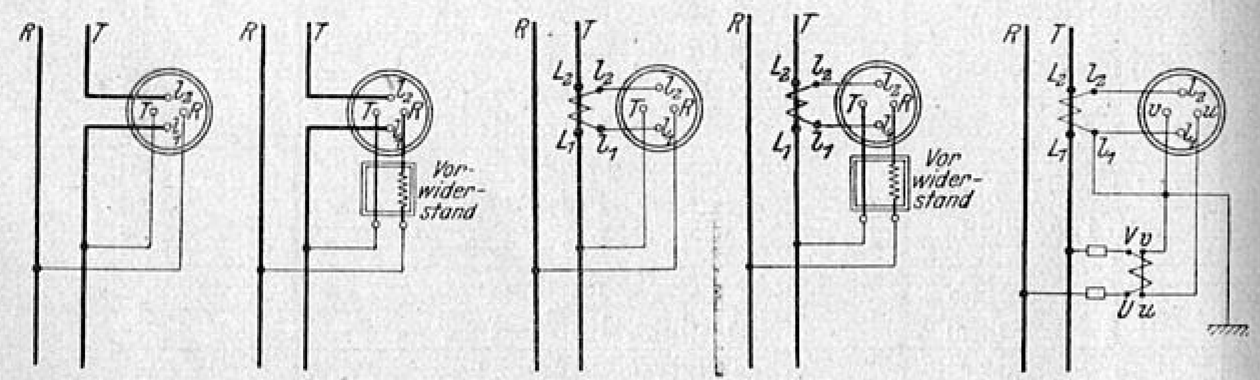




Gleich- und Wechselstrom ohne Vorwiderstand | mit Vorwiderstand | Wechselstrom-Hochspannung | Bis 600 Volt

TWL 11241

Schaltung von Leistungsmessern in Wechselstromanlagen.

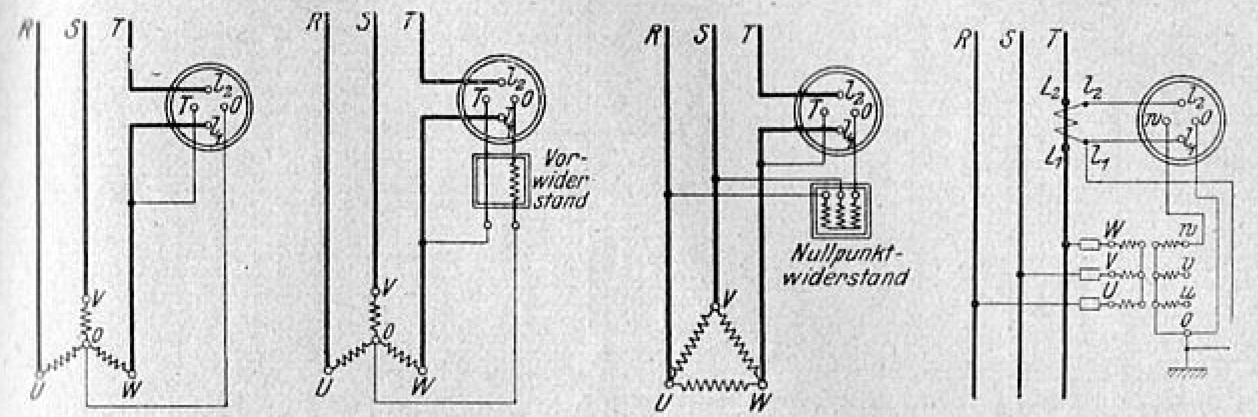


Für Stromstärken bis 200 Amp. bis 250 Volt | 250 bis 600 Volt | Für höhere Stromstärken bis 250 Volt | 250 bis 600 Volt | Für Hochspannung

TWL 11242

Schaltung von Leistungsmessern in Drehstromanlagen mit gleichbelasteten Phasen.

a) Wechselstromleistungsmesser, Gesamtleistung = 3 × Angabe des Instrumentes
b) Drehstromleistungsmesser für gleichbelastete Phasen, Gesamtleistung direkt ablesbar

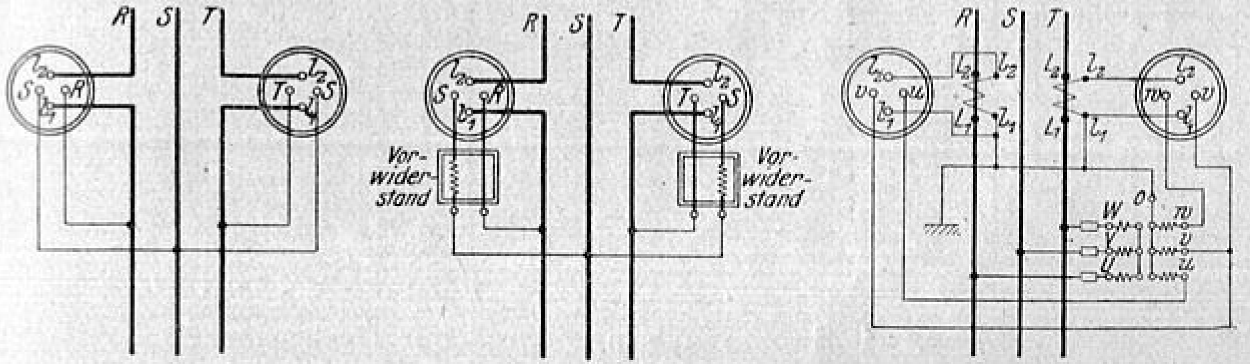


Nullpunkt zugänglich — Nullpunkt unzugänglich — Für Hochspannung

Die Spannungsspule der Instrumente muß stets an den Nullpunkt und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

Schaltung von Leistungsmessern in Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen ohne Nulleiter.

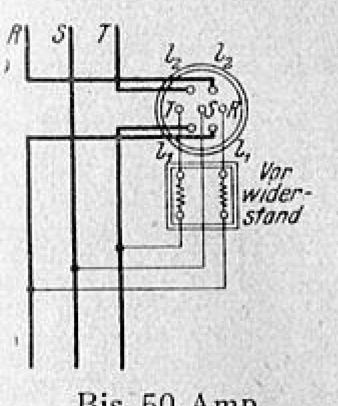
a) Messung mit 2 Wechselstromleistungsmessern (Aronschaltung) Gesamtleistung = Summe der Angaben beider Instrumente.



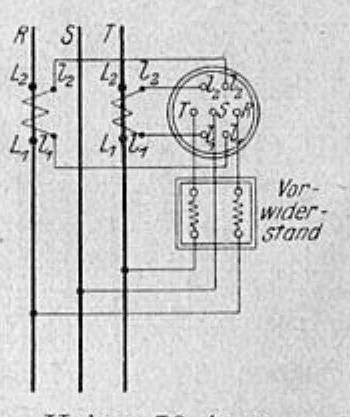
Bis 250 Volt — Von 250 bis 600 Volt — Für Hochspannung

Die Spannungsspule jedes Instrumentes muß an die freie dritte Phase und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

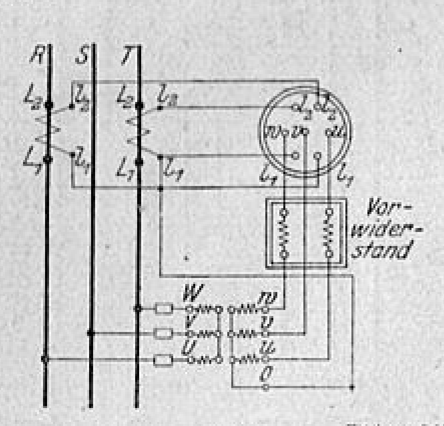
b) Messung mit 1 Drehstromleistungsmesser für beliebig belastete Phasen Gesamtleistung direkt ablesbar.



Bis 50 Amp. ohne Stromwandler



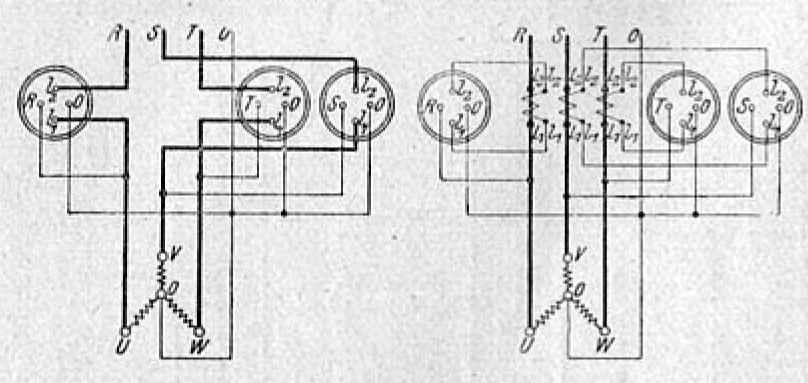
Ueber 50 Amp. mit Stromwandler



Für Hochspannung

Schaltung von Drehstromleistungsmessern in Drehstromanlagen mit beliebig belasteten Phasen und belastetem Nulleiter.

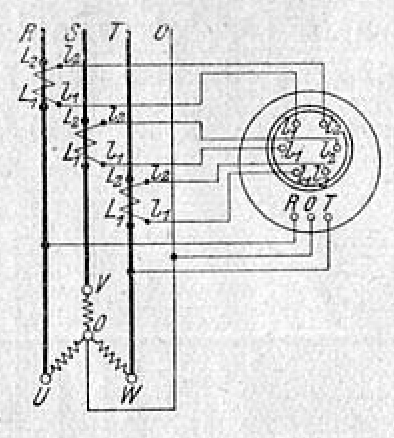
a) Messung mit 3 Wechselstromleistungsmessern.
Gesamtleistung = Summe der Angaben der 3 Instrumente.

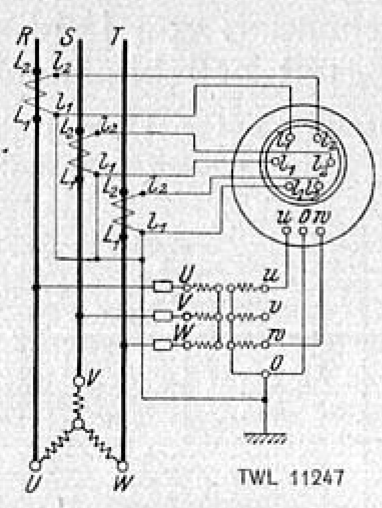


Für Stromstärken bis 200 Amp. Für höhere Stromstärken.
Bis 250 Volt ohne, über 250 Volt mit Vorwiderstand. Für Hochspannung

Die Spannungsspule jedes Instrumentes muß an den Nulleiter und diejenige Phase angeschlossen werden, in der die Stromspule liegt.

b) Messung mit 1 Drehstromleistungsmesser für beliebig belastete Phasen und belasteten Nulleiter. Gesamtleistung direkt ablesbar.

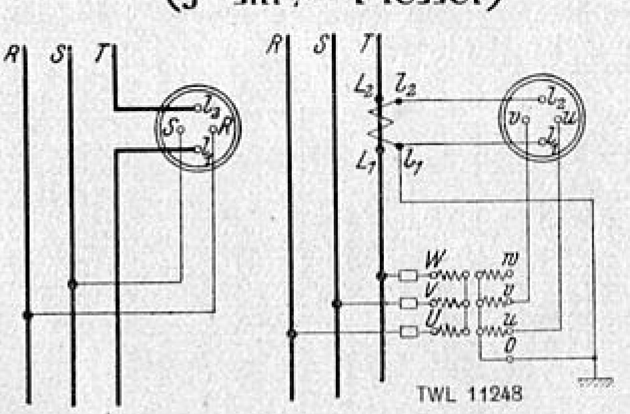




Ueber 5 Amp. mit Stromwandlern

Für Hochspannung

Schaltung von Blindstrommessern ($J \cdot \sin\varphi$ - Messer)

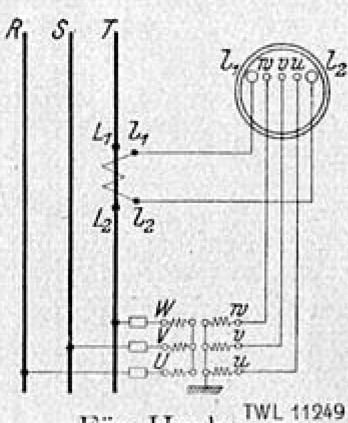


Für Niederspannung

Für Hochspannung

Die Spannungsspule der Instrumente wird an 2 Phasen angeschlossen und die Stromspule in die dritte Phase gelegt.

Schaltung von Leistungsfaktormessern ($\cos\varphi$ - Messer)



Für Hochspannung

Die Spannungsklemme w muß in demselben Pol liegen wie die Stromkl. l_1. Der Anschluß von v und u muß unbedingt im Drehfeldrichtungssinn erfolgen, andernfalls zeigt das Instrument falsch und **v** muß mit u vertauscht werden. Im stromlosen Zustand hat der Zeiger keine bestimmte Ruhelage.

IX. Aufschriften für Meßwandler und Meßinstrumente.

Nach den Regeln für Meßgeräte des VDE.

Aufschriften für Stromwandler.

Auf dem Schilde eines Stromwandlers muß angegeben sein

Hersteller (Herkunftszeichen) oder Lieferer
Klassenbezeichnung
Formbezeichnung und Fabriknummer
Primäre und sekundäre Nennstromstärken
Nennbürde und (in Klammern) Grenzbürde
Reihennummer oder primäre Prüfspannung
Frequenz oder Frequenzbereich.

Nennbürde bezeichnet den in Ohm angegebenen Scheinwiderstand, der an die Sekundärseite des Stromwandlers angeschlossen werden kann, ohne die Bestimmungen der betreffenden Klasse zu verletzen, während die Grenzbürde den Höchstwert des Scheinwiderstandes angibt, bei dem ohne Rücksicht auf die Genauigkeit die Erwärmungsvorschriften noch eingehalten werden.

Aufschriften für Spannungswandler.

Das Schild eines Spannungswandlers muß folgende Aufschriften tragen:

Hersteller (Herkunftszeichen) oder Lieferer
Klassenbezeichnung
Formbezeichnung und Fabriknummer
Primäre und sekundäre Nennspannung
Nennleistung und (in Klammern) Grenzleistung
Frequenz und Frequenzbereich
Schaltungsgruppe (bei dreiphasigen Wandlern).

Die Grenzleistung ist der Höchstwert der abgegebenen Scheinleistung, bei welchem ohne Rücksicht auf die Meßgenauigkeit die Erwärmungsvorschriften noch eingehalten werden.

Aufschriften für Meßinstrumente.

Auf allen Instrumenten muß angegeben sein: Ursprungszeichen, Fabrikations-Nr., Einheit der Meßgröße, Stromartzeichen, Art des Meßwerks, Lagezeichen, Prüfspannungszeichen, Nennfrequenz.

Außerdem auf Leistungsmessern und Leistungsfaktormessern: Nennstrom.

Auf Leistungsmessern und Strommessern: Uebersetzung des Stromwandlers.

Auf Leistungsmessern und Spannungsmessern: Uebersetzung des Spannungswandlers.

Die für die Aufschriften anzuwendenden Zeichen und Abkürzungen sind in folgender Tabelle zusammengestellt.

Zeichen für die Aufschriften für Meßinstrumente.

Bezeichnung		Zeichen bzw. Symbol	Bedeutung	
Ursprungszeichen			Für AEG-Instrumente	
Fabrikationsnummer			Steht unter dem Ursprungszeichen	
Einheit der Meßgröße		A; mA	Ampere; Milliampere	
		V; mV; kV	Volt; Millivolt; Kilovolt	
		W; kW	Watt; Kilowatt	
		Ω; kΩ; MΩ	Ohm; Kiloohm; Megohm	
Klassenzeichen		E	Feinmeßgerät 1. Klasse	
		F	„ 2. „	
		G	Betriebsmeßgerät 1. Klasse	
		H	„ 2. „	
Stromartzeichen		=	Gleichstrom	
		~	Wechselstrom	
			Gleich- und Wechselstrom	
			Zweiphasenstrom	
			Drehstrom, gleiche Belastung	
			Drehstrom, ungleiche Belastung	
			Vierleitersysteme	
Zeichen für die Art der Meßwerke	M 1		Drehspule (links mit, rechts ohne Richtkraft)	
	M 2		Dreheisen (Weicheisen)	
	M 3		Elektrodynamisch, eisenlos	Linke Zeichen mit Richtkraft, rechte Zeichen ohne Richtkraft
			Eisengeschirmt	
			Eisengeschlossen	
	M 4		Induktion	
	M 5		Hitzdraht	
	M 6		Elektrostatisch	
	M 7		Vibration	

K 1366

Bezeichnung		Zeichen	Bedeutung	
Lagezeichen		I	Senkrechte Gebrauchslage	
		∠60°	Schräge "	
		—	Wagerechte "	
Prüfspannungszeichen für Prüfspannung	500 V	schwarzer Stern	Nicht über 40 Volt	Höchstspannung gegen Gehäuse
	1000 V	brauner Stern	41 bis 100 Volt	
	2000 V	roter Stern	101 bis 650 Volt	
	3000 V	blauer Stern	651 bis 900 Volt	
	5000 V	grüner Stern	901 bis 1500 Volt	
Nennspannung, Nennstrom und Nennfrequenz		Die auf dem Instrument angegebene Spannung, Stromstärke und Frequenz		
Nennspannungsbereich und Nennfrequenzbereich		Bereich zwischen den niedrigsten und höchsten Werten, für die das Meßgerät den Bestimmungen über Genauigkeit entspricht		
Beispiele	Strom- oder Spannungsmesser	I F *	Senkrechte Gebrauchslage, Drehspulinstrument Klasse F für Gleichstrom, Prüfspannung 2000 Volt.	
	Spannungsmesser	I G 50 * 6000/100 V	Senkrechte Gebrauchslage, Weicheiseninstrument Klasse G für Wechselstrom 50 Perioden, Prüfspannung 2000 Volt, für Anschluß an Spannungswandler 6000/100 Volt.	
	Leistungsmesser	I G * $\frac{6600}{100}$ V $\frac{10}{5}$ A 57,8 V 5 A	Senkrechte Gebrauchslage, Ferrodynamisch Klasse G, für Drehstrom mit gleicher Phasenbelastung, Prüfspannung 2000 Volt, für Spannungswandler 6600/100 Volt und Stromwandler 10/5 Amp., anzuschließen an Null- und Außenleiter, gebaut für 5 Amp.	
	Leistungsmesser	I G * $\frac{3300}{100}$ V $\frac{25}{5}$ A 100 V 5 A	Senkrechte Gebrauchslage, Ferrodynamisch Klasse G, für Drehstrom, beliebig belastete Phasen, Prüfspannung 2000 Volt, für Spannungswandler 3300/100 Volt und Stromwandler 25/5 Amp., anzuschließen an die Außenleiter, gebaut für 5 Amp.	

K 1367

X. Isolations-Prüfungen und -Messungen.

Allgemeines.

Auch wenn bestes Isoliermaterial mit größter Sorgfalt angewendet wird, ist es nicht möglich, eine vollständige elektrische Isolation der Stromleitungen zu erreichen. Stets tritt ein geringer Fehlerstrom auf. Ist er nicht größer als $^1/_{1000}$ Ampere = 1 Milliampere, so wird er als unschädlich angesehen. Die Isolation genügt dann den Sicherheitsvorschriften des VDE. und gilt als ausreichend.

In der Praxis wird nicht der Fehlerstrom gemessen, sondern der Widerstand, den die Isolation dem Stromdurchfluß entgegensetzt **(Isolationswiderstand).** Aus diesem und aus der Betriebsspannung berechnet sich dann nach dem Ohmschen Gesetz der im Betrieb auftretende

$$\text{Fehlerstrom in Ampere} = \frac{\text{Betriebsspannung in Volt}}{\text{Isolationswiderstand in Ohm}}$$

Der Fehlerstrom soll den vorgeschriebenen Höchstwert von 1 Milliampere nicht überschreiten, der Isolationszustand ist also ausreichend, wenn der Isolationswiderstand größer ist als

110 000	Ohm	bei	110	Volt	Betriebsspannung,
220 000	„	„	220	„	„
380 000	„	„	380	„	„
500 000	„	„	500	„	„ usw.

Bei der Messung der Isolationswiderstände hat man es also immer mit großen Werten zu tun, deshalb ist dafür, der Bequemlichkeit halber, auch eine größere Maßeinheit, das „Megohm" eingeführt, das einer Million Ohm gleich ist.

110 000	Ohm	sind	also	= 0,11	Megohm,
220 000	„	„	„	= 0,22	„
380 000	„	„	„	= 0,38	„
500 000	„	„	„	= 0,50	„
1 000 000	„	„	„	= 1,00	„
3 000 000	„	„	„	= 3,00	„

Die Skalen der Meßinstrumente sind meist sogleich in Megohm geeicht.

Der VDE. verlangt nicht, daß die gesamte Anlage diese Isolationswiderstände besitzt. Es genügt, wenn jede Teilstrecke zwischen zwei Sicherungen oder die Strecke hinter der letzten Sicherung und jeder Stromverbraucher für sich den verlangten Isolationswiderstand aufweist.

Der Isolationswert der aus mehreren Zweigstrecken oder mehreren Stromverbrauchern zusammengesetzten Gesamtanlage wird daher wesentlich geringer sein dürfen; denn wenn für jede einzelne Teilstrecke der Gesamtanlage ein Fehlerstrom von 1 Milliampere zulässig ist, ist für eine aus 3 Teilstrecken bestehende Gesamtanlage ein Fehlerstrom von 3 Milliampere zulässig. Der Isolationswert der Gesamtanlage hängt also nicht nur von der Beschaffenheit der Isoliermaterialien, sondern auch von dem Umfang der Anlage ab. Sehr ausgedehnte Leitungsnetze zeigen daher einen weit größeren Fehlerstrom als 1 Milliampere, ohne deshalb mangelhaft zu sein.

Der Isolationswiderstand einer bestimmten Anlage ist eine veränderliche Größe. Er ändert sich durch die Wirkung der Wärme, der Feuchtigkeit und ähnlicher Einflüsse. Freileitungen haben z. B. bei trockenem Wetter einen sehr hohen Isolationswert, der sich bei Regen zu vermindern pflegt. Leitungen in Viehställen haben unmittelbar nach der Herstellung meist einen ausreichenden Isolationszustand; sind sie jedoch nicht den Erfahrungen entsprechend ordnungsmäßig verlegt, so kann sich der Isolationszustand der Stalleitung unter der Wirkung des Stalldunstes leicht verschlechtern. Dagegen werden die Leitungen in einem Neubau unmittelbar nach der Verlegung wegen der vorhandenen Feuchtigkeit gewöhnlich nur einen geringeren Isolationswert haben, der sich aber mit dem Austrocknen des Baues verbessert.

Die Vorschriften des VDE. bestimmen, daß der Isolationswert tunlichst mit der Betriebsspannung, mindestens aber mit 100 Volt festgestellt werden soll. Bei Messungen mit Gleichstrom gegen Erde soll möglichst der negative Pol der Stromquelle an die zu prüfende Leitung gelegt werden.

Bei allen Feststellungen des Isolationswertes soll nicht nur die Isolation zwischen den Leitungen und Erde, sondern auch die Isolation je zweier Leitungen gegeneinander geprüft werden. Dabei sollen alle Glühlampen, Bogenlampen, Motoren oder andere stromverbrauchende Apparate von ihren Leitungen abgetrennt, dagegen alle vorhandenen Beleuchtungskörper angeschlossen, alle Sicherungen eingesetzt und alle Schalter geschlossen sein. Damit soll erreicht werden, daß auch wirklich alle Teile der zu prüfenden Anlage in das Prüf- und Meßverfahren einbezogen werden. Daher ist es unerläßlich, jeder Isolationsfeststellung eine **Leitungsprüfung** vorangehen zu lassen.

Bei der Isolationsfeststellung unterscheidet man:

1. Die **Isolationsprüfung**, bei der es lediglich auf die Feststellung ankommt, ob die untersuchte Leitungsstrecke, die Maschine, der Apparat usw. wenigstens den durch die Vorschriften des VDE. vorgeschriebenen Isolationswiderstand besitzt.
2. Die **Isolationsmessung**, durch die der wirkliche Wert des Isolationswiderstandes mit möglichster Genauigkeit ermittelt werden soll.
3. Die **Fehlerortsbestimmung**, durch die der Ort festgestellt werden soll, an dem der Isolationsfehler eingetreten ist.

Die Isolations-Prüfungen, -Messungen und Fehlerortsbestimmungen können sowohl an Anlagen vorgenommen werden, die sich im Betrieb befinden, wie auch an Leitungsstrecken und Stromverbrauchern, die nicht unter Spannung stehen. Dazu kann entweder die Netzspannung gebraucht werden, oder man bedient sich der Spannung einer fremden Stromquelle, einer Batterie oder eines Kurbelinduktors.

Isolations-Prüfinstrumente und -Methoden.

Anlage im Betrieb.

In Anlagen, die sich im Betrieb befinden, besteht das Bedürfnis, sich über den Isolationszustand jederzeit ein ungefähres Bild zu machen. Man benutzt dazu die Netzspannung selbst und besonders für die Isolationsprüfung geeichte elektromagnetische bzw. Präzisions-

Voltmeter PL Nr 79101—09, 79201—09, 79221—29, 79111—19, die in der in Abb. 22 und 23 dargestellten Weise mit den Sammelschienen verbunden werden. **(Erdschlußprüfer.)**

In Niederspannungsanlagen macht man die Instrumente abschaltbar. Man schaltet sie nur in dem Augenblick ein, in dem der Isolationszustand festgestellt werden soll.

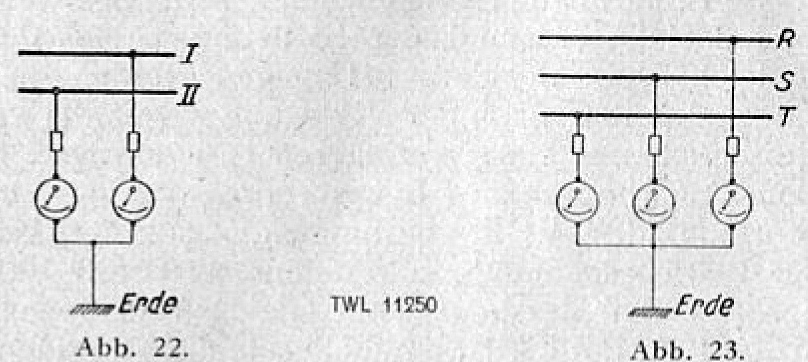


Abb. 22. Abb. 23.
Schaltung der Voltmeter als Erdschlußprüfer
in Zweileiteranlagen. in Drehstromanlagen.

In Anlagen, die sich im Betriebe befinden, genügt es im allgemeinen, wenn das Auftreten eines nennenswerten Isolationsfehlers in einer Leitung erkannt werden kann. Dies ist der Fall, wenn die angebrachten Voltmeter verschiedenen Ausschlag zeigen. Der Fehler liegt in derjenigen Leitung, welche mit dem Voltmeter verbunden ist, das den kleineren Ausschlag hat.

In Anlagen, die sich noch nicht im Betrieb befinden, verfährt man grundsätzlich anders.

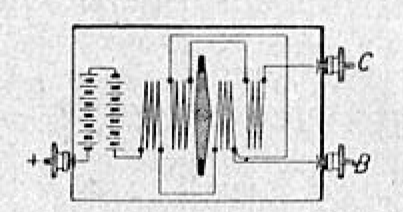
Anlage außer Betrieb.

Allgemeines.

Für die Ermittlung des Isolationszustandes von Leitungsstrecken oder Stromverbrauchern, die nicht unter Spannung stehen, bedient man sich der **Galvanoskope,** mit denen in Anlagen jeder Art und Spannung grobe Isolationsfehler oder Leitungsunterbrechungen festgestellt werden können. Sie werden in zwei Arten hergestellt:

Für die Prüfung mit Batteriestrom PL Nr 79714 bis 79715 mit der inneren Schaltung nach Abb. 24 und

für die Messung mit Batteriestrom oder mit Netzspannung bis 220 Volt PL Nr 79717 bis 79718 mit der inneren Schaltung nach Abb. 25.



TWL 11251

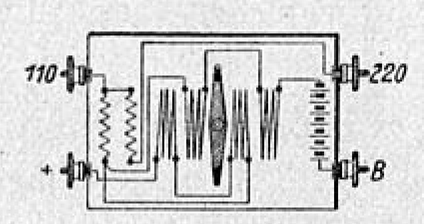


Abb. 24. Abb. 25.
Innere Schaltung der Galvanoskope für die Isolationsprüfung
mit Batteriestrom. mit Batteriestrom
oder mit Netzspannung bis 220 Volt.

Das Galvanoskop wird so aufgestellt, daß seine Nadel auf Null zeigt, Magnete und große Eisenmassen dürfen sich nicht in der Nähe befinden. Ferner wird von einer guten Erdverbindung, Wasserleitung, Brunnenrohr, Eisenkonstruktion, Gasleitung und dergl. ein Draht nach der Prüfstelle hin verlegt. Alsdann kann die Prüfung beginnen, die sich aber nicht nur auf eine einzelne Beobachtung erstreckt, sondern auf mehrere.

In Abb. 26 ist dargestellt, daß neben den Fehlerströmen, die vom Draht I zur Erde fließen (x), auch die Fehlerströme ermittelt werden müssen, die vom Draht II zur Erde abströmen (y). Außer diesen Strömen müssen auch die Fehlerströme gemessen werden, die zwischen den Drähten I und II durch die Isolationen beider Drähte hindurchgehen (z), ohne zur Erde zu gelangen. Bevor aber die Messung beginnt, muß festgestellt werden, daß auch alle Teile der zu untersuchenden Anlage an der Prüfung beteiligt sind.

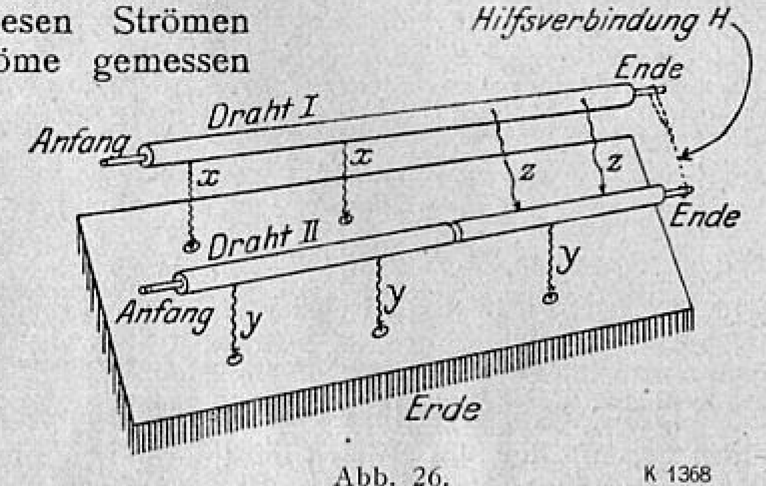


Abb. 26. K 1368
Schematische Darstellung der möglichen Isolationsfehler.

Würde z. B. der Draht II irgendwo eine Unterbrechung erlitten haben, wie Abb. 26 zeigt, und die Messung am Anfange der Leitung vorgenommen werden, so könnten weder die Fehler z noch der Fehler y nahe dem Ende des Drahtes II bemerkt werden. Vor jeder Isolationsmessung stelle man daher zunächst an den äußersten Enden der zu prüfenden Leitung eine Hilfsverbindung H her und überzeuge sich mit Hilfe der verwendeten Meßinstrumente von der Unversehrtheit der ganzen Leitungsstrecke. Nach dieser Leitungskontrolle wird die Verbindung H wieder gelöst und die Isolationsprüfung kann beginnen.

Der Verlauf der Prüfung wird an den folgenden Bildern gezeigt, in denen der Einfachheit halber die vollständige Installation nur einmal in Abb. 27 dargestellt ist. In den Abbildungen 28 und den folgenden sind nur die Drahtenden angedeutet, die zur Installation führen. Die Drähte sind mit I und II, die Isolationsfehler durch Punktierung bezeichnet. Die übrigen

Prüfung mit Batteriespannung.

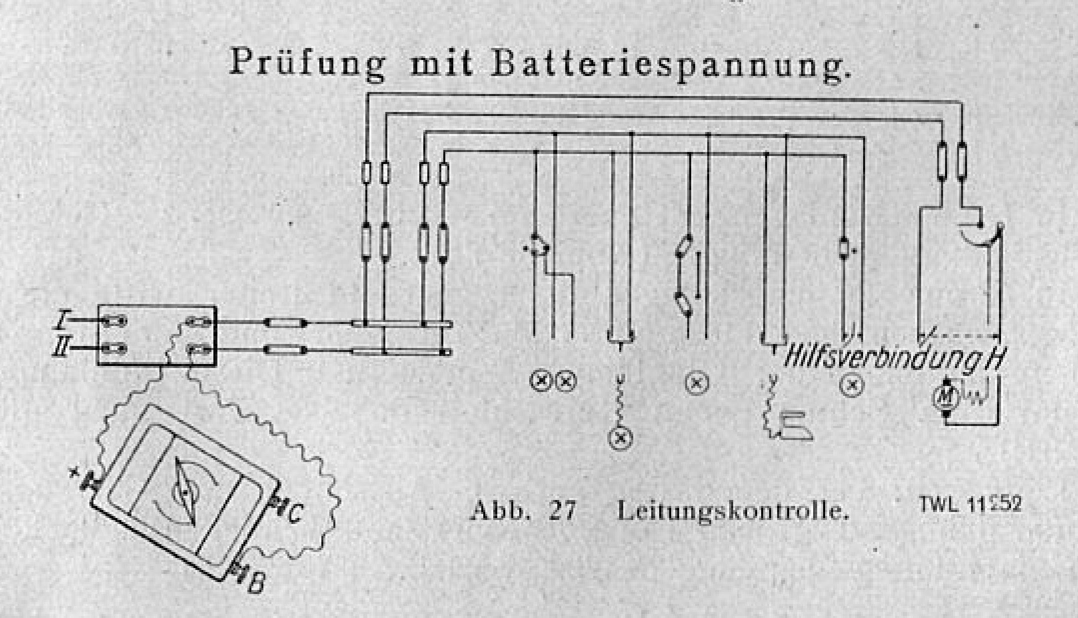


Abb. 27 Leitungskontrolle. TWL 11252

Bezeichnungen entsprechen den Angaben, die sich auf den von der Fabrik gelieferten Apparaten vorfinden.

Die Nadel des Galvanoskops muß voll ausschlagen, wenn der Strom die ganze zu prüfende Leitung durchfließt. Sie muß aber auch auf die Nullstellung zurückkehren, wenn die Verbindung H gelöst wird.

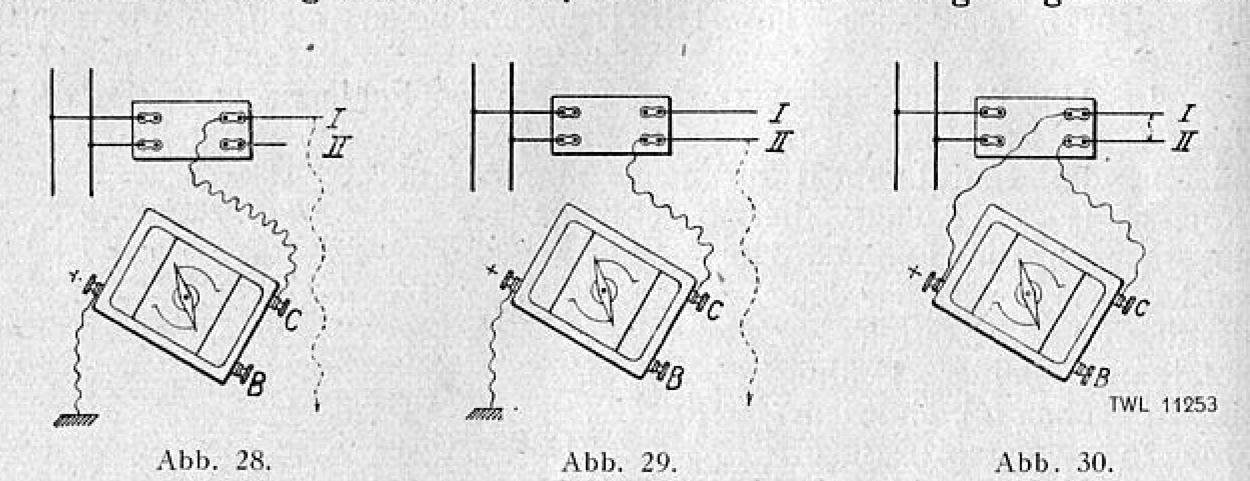


Abb. 28. solationsprüfung der Leitung I gegen Erde.

Abb. 29. Isolationsprüfung der Leitung II gegen Erde.

Abb. 30. Isolationsprüfung der Leitung I gegen Leitung II.

Die Ausschläge der Nadel des Galvanoskops werden jedesmal beobachtet. Auf der im Instrument angebrachten Eichtabelle können die ungefähren Größen der Isolationswiderstände abgelesen werden.

Mit Netzspannung.

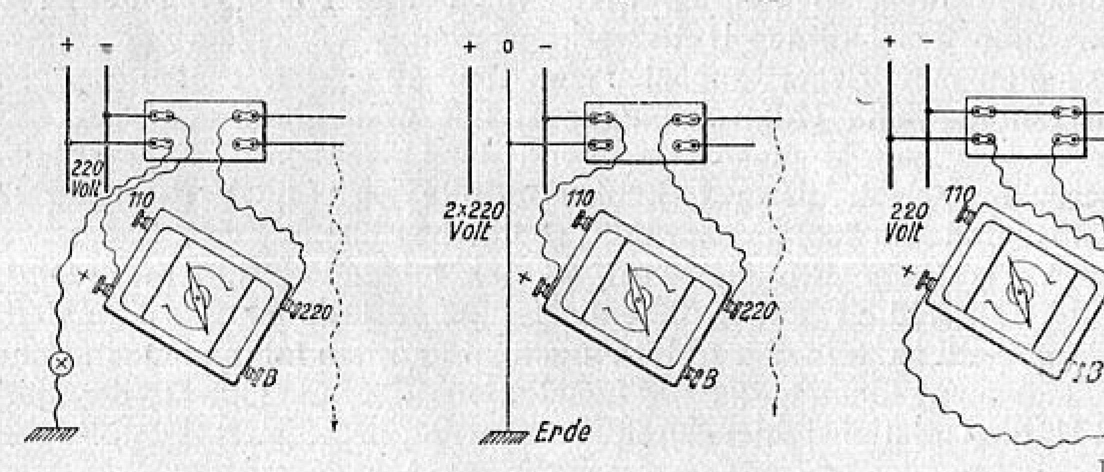




Abb. 31. Isolationsprüfung der positiven Leitung gegen Erde.

Abb. 32. Isolationsprüfung der negativen Leitung gegen Erde.

Abb. 33. Isolationsprüfung der positiven und negativen Leitungen gegeneinander.

In Dreileiteranlagen mit geerdetem Mittelleiter ist die Herstellung einer Erdleitung nicht nötig. (Abb. 32.)

In Stromerzeugungsanlagen ohne geerdete Leiter wird die Verbindung zwischen dem stromführenden Plusleiter und der Erde unter Zwischenschaltung einer Glühlampe hergestellt. Diese Glühlampe ist aber nur zum Schutz gegen Kurzschluß da; sie darf nicht glühen. (Abb. 31.)

Leitungen, bei denen der geringe Ausschlag des Galvanoskops auf einen genügend großen Isolationswiderstand schließen läßt, können ohne Gefahr unter Spannung gesetzt werden. (Abb. 33.)

Isolations-Meßinstrumente und -Methoden.

Anlage im Betrieb.

Erdschlußmesser. Um den Isolationswert der im Betrieb befindlichen Anlagen durch Messung zu ermitteln, bedient man sich in Gleichstromanlagen der Präzisions-Voltmeter PL Nr 79201 bis 79209. Man verbindet sie entsprechend Abb. 34 mit einem doppelpoligen Voltmeterumschalter mit 3 Kontakten. In den drei Stellungen des Umschalters liest man ab

in Stellung I die Spannung der Plusleitung gegen Erde = Vp;
" " III die Spannung der Minusleitung " " = Vm;
" " II die Netzspannung zwischen der Plus- und Minusltg. = E

Mit Hilfe des Widerstandes, der auf dem Instrument angegeben ist (R), errechnet man dann den Isolationswiderstand der Gesamtanlage nach folgenden Formeln:

$$x = R\left(\frac{E - Vp - Vm}{Vp + Vm}\right)$$

Beispiel: Der Instrumentenwiderstand R sei = 26 000 Ohm,
die Netzspannung E = 220 Volt,
die Voltmeterausschläge Vp = 54 Volt,
Vm = 11 Volt,

$$\text{dann ist } x = 26\,000\left(\frac{220 - 54 - 11}{54 + 11}\right) = 62\,000 \text{ Ohm.}$$

Zum Zwecke der Erdschlußmessungen an Wechselstromanlagen, die sich im Betriebe befinden, können die gleichen Meßinstrumente verwendet werden, aber in Verbindung mit einer Meßbatterie und einer Drosselspule. Die Schaltung ist in Abb. 35 dargestellt. In Drehstromanlagen mit geerdetem Nulleiter ist eine Erdschlußmessung während des Betriebes nicht durchführbar.

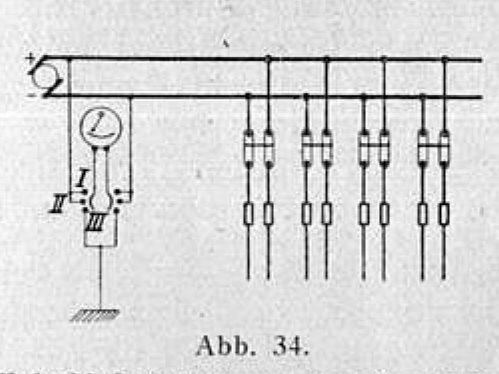


Abb. 34.
Erdschlußmessung an einer im Betrieb befindlichen Gleichstromanlage.

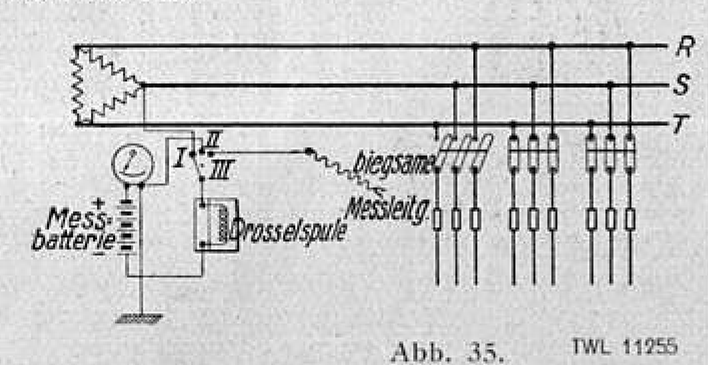


Abb. 35. TWL 11255
Erdschlußmessung an einer im Betrieb befindlichen Wechselstromanlage.

Der Voltmeterumschalter bewirkt, daß in Stellung I der Isolationswert der Gesamtanlage und in Stellung III der Isolationswert desjenigen Teils der Anlage angezeigt wird, der mit der biegsamen Meßleitung gerade verbunden wird. Die Instrumente können so geeicht werden, daß der Isolationswert der Anlage unmittelbar angezeigt wird, so daß sich eine Rechnung erübrigt. In Stellung II wird das Instrument geprüft. Die Kurbelinduktoren, die später behandelt werden, sind ebenfalls für diese Messungen verwendbar, sofern die Spannung der zu messenden Wechselstromanlage nicht höher ist als die auf dem Kurbelinduktor angegebene Spannung.

Anlage außer Betrieb.

Messung mit Gleichstrom-Netzspannung.

Präzisions-Voltmeter für Gleichstrom eignen sich wegen ihrer hohen Meßgenauigkeit auch für die Isolationsmessungen mit Hilfe der Netzspannung an Leitungen und Stromverbrauchern, die sich nicht im Betriebe befinden. Man verwendet dazu die transportablen Drehspul-Instrumente PL Nr 77221 bis 77231. Diese Instrumente können mit einer Ohmskala versehen werden, so daß der Isolationswiderstand der zur prüfenden Leitung am Zeigerausschlag unmittelbar abgelesen werden kann. Diese Angaben sind aber nur richtig, wenn die Netzspannung der Spannung gleich ist, für die die Ohmskala geeicht wurde. Diese Spannung ist auf dem Instrument angegeben. — Da aber die Netzspannung nicht in allen Teilen des Netzes gleich und unveränderlich ist, gibt ein mit Ohmskala versehenes Präzisions-Voltmeter nicht immer die Möglichkeit der genauen unmittelbaren Ablesung des Isolationswiderstandes. Man verwendet deshalb für eine genaue Isolationsmessung am besten die Präzisions-Voltmeter mit einfacher Voltskala und ermittelt den Isolationswiderstand nach folgender Methode.

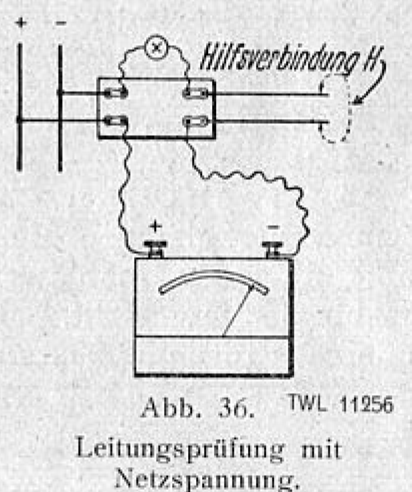


Abb. 36. TWL 11256
Leitungsprüfung mit Netzspannung.

Der eigentlichen Messung geht wieder eine Leitungsprüfung voraus, durch die festgestellt wird, daß auch wirklich die ganze Anlage an der Messung beteiligt ist. Gleichzeitig kann dabei aber auch die Netzspannung „E“ ermittelt und der Widerstand „R“ des Meßinstrumentes festgestellt werden. Beide Angaben sind zur Durchführung der Isolationsmessung durchaus nötig. Ebenso richte man, wie bereits früher bei der Gebrauchserläuterung für die Galvanoskope erwähnt, eine gute Erdverbindung her.

Nachdem die Leitungsprüfung durchgeführt worden ist, entfernt man die Hilfsverbindung „H“ und verfährt entsprechend den folgenden Abbildungen:

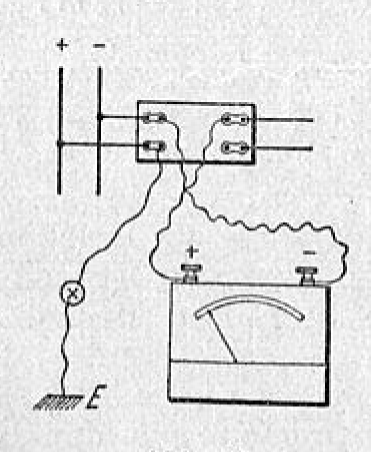


Abb. 37.
Isolationsmessung der negativen Leitung gegen Erde. Man erhält den Ausschlag „V I“.

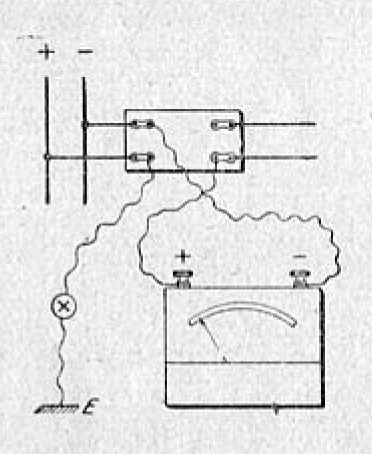


Abb. 38.
Isolationsmessung der positiven Leitung gegen Erde. Man erhält den Ausschlag „V II“.

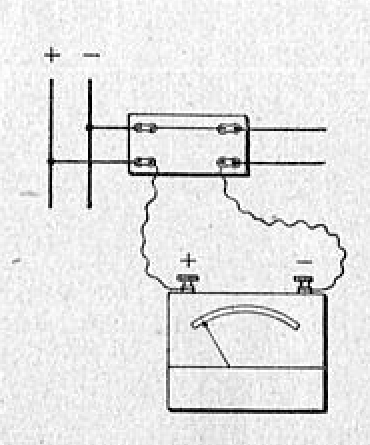


Abb. 39. TWL 11256
Isolationsmessung der positiven und negativen Leitungen gegeneinander. Man erhält den Ausschlag „V I-II“.

Aus diesen Angaben errechnet sich der jeweilige Isolationswiderstand in Ohm = Instrumentenwiderstand mal $\frac{\text{Netzspannung-Ausschlag}}{\text{Ausschlag}}$

$$X = R \cdot \frac{E - V}{V}$$

Beispiel: Es sei gefunden worden

1. Instrumentenwiderstand R (steht auf dem Instrument vermerkt) . . . 40 000 Ohm
2. Netzspannung E (bei der Leitungsprüfung gefunden) . . . . 224 Volt
3. Ausschlag V I (bei der Messung der neg. Leitung gegen Erde gefunden) 18 „
4. „ V II („ „ „ „ pos. „ „ „ „) 26 „
5. „ V I—II („ „ „ „ neg. „ „ die pos. „) 35 „

Dann ist der Isolationswiderstand

der neg. Leitung gegen Erde X I $= 40\,000 \times \frac{224-18}{18} = 458\,000$ Ohm

der pos. Leitung gegen Erde X II $= 40\,000 \times \frac{224-26}{26} = 304\,000$ Ohm

der neg. Leitung gegen die pos. X I—II $= 40\,000 \times \frac{224-35}{35} = 216\,000$ Ohm

Der Isolationswiderstand der Anlage gegen Erde ist vollkommen ausreichend, der der Leitungen gegeneinander entspricht dagegen nicht ganz den Verbands-Vorschriften und könnte beanstandet werden.

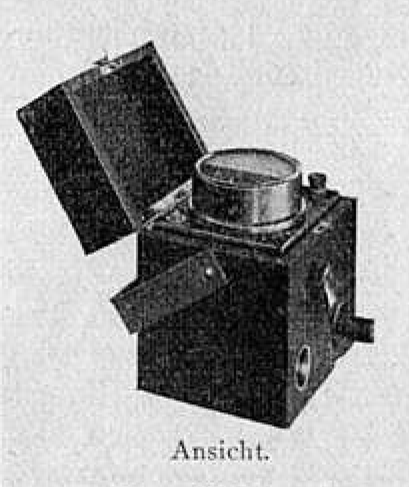
Kurbelinduktoren.

Die Vielgestaltigkeit der Isolationsmessung in Gleichstrom- und Wechselstromanlagen mit Spannungen verschiedener Höhe würde die Bereitstellung einer erheblichen Zahl von Instrumenten verlangen, wenn stets Messungen mit höchster Genauigkeit verlangt werden würden. Die vom VDE. in den Errichtungsvorschriften für elektrische Starkstromanlagen vorgeschriebenen Isolationsmessungen verlangen aber diesen hohen Grad der Genauigkeit nicht. Das ermöglicht dem Wunsche der Praxis nachzukommen, welche die verschiedenartigsten Messungen mit einem und demselben tragbaren Instrument durchführen möchte. Diesem Zwecke dienen die Isolationsmesser mit Kurbelinduktoren.

Die **Kurbelinduktoren** können sowohl zu Isolationsmessungen in Anlagen jeder Stromart wie auch zu Spannungsmessungen für Gleichstrom verwendet werden. Sie bestehen in der Hauptsache aus einem kleinen magnetelektrischen Gleichstrom-Generator und einem mit ihm in Reihe geschalteten Drehspul-Spannungsmesser. Die Apparate werden in drei Ausführungen geliefert, deren jede einen Spannungsmeßbereich in Volt und einen dazu passenden Widerstandsmeßbereich in Megohm besitzt, und zwar

PL Nr 79309 Voltskala bis 250 Volt, Ohmskala bis 25 MΩ
„ 79310 „ „ 500 „ „ „ 50 MΩ
„ 79312 „ „ 1000 „ „ „ 100 MΩ

In Abb. 40 ist die Ansicht, Skala und innere Schaltung eines Kurbelinduktors dargestellt.



Ansicht.

Skala.

Abb. 40.
Kurbelinduktor.
TWL 11257.

Innere Schaltung.

Das Zeichen MΩ auf der Ohmskala heißt Megohm = 1 000 000 Ohm. Die Kurbelinduktoren dienen zur Messung der

1. Spannung in Gleichstromanlagen,
2. Isolation in Gleichstromanlagen während des Betriebes mit der Betriebsspannung,
3. Isolation in stromlosen Gleich- und Wechselstromanlagen, an Maschinen usw. mit Induktorspannung,
4. Isolation in Wechsel- und Drehstromanlagen während des Betriebes mit Induktorspannung.

Die Instrumente ermöglichen die Durchführung aller aufgeführten Messungen unter unmittelbarer Ablesung der gesuchten Spannungs- und Widerstandswerte. Mit dem Kurbelinduktor können durch entsprechende Kurbelumdrehungen die Betriebsspannungen bequem erzeugt werden. Die Ausführung der Messungen ist nachstehend näher erläutert.

Zu 1. Bei der Spannungsmessung an Gleichstromanlagen (Abb. 41 und 42) ist die negative Leitung an Klemme B und die positive Leitung an Klemme C anzuschließen. Die Kurbel darf nicht gedreht und der Taster T nicht gedrückt werden.

Zu 2. Die Messung des Isolationswiderstandes in Gleichstromanlagen während des Betriebes erfolgt derart, daß zunächst die Betriebsspannung nach Abb. 41 und dann die Spannung des positiven und des

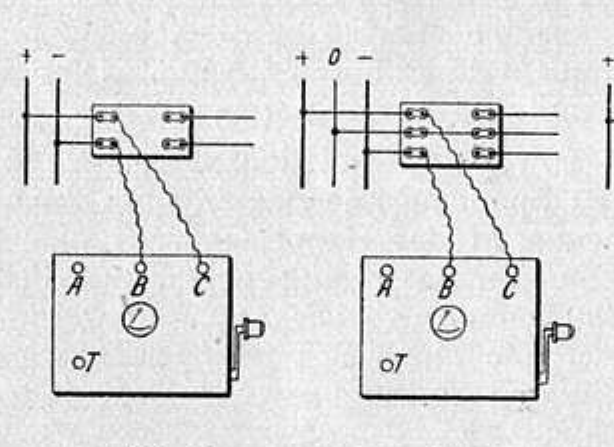


Abb. 41. Abb. 42.
Messung der Spannung in Gleichstromanlagen.

Gleichstrom-Zweileiter. Gleichstrom-Dreileiter.

Abb. 43. Abb. 44. TWL 11258
Gebrauch des Kurbelinduktors zur Messung des Isolationswiderstandes einer im Betrieb befindlichen Gleichstromanlage.

Negative Leitung gegen Erde. Positive Leitung gegen Erde.

negativen Leiters gegen Erde ermittelt werden (Abb. 43 u. 44). Der Isolationswiderstand der Anlage wird dann in genau derselben Weise errechnet wie auf Seite 253 erläutert worden ist. Auch bei dieser Messung darf die Kurbel nicht gedreht und der Taster T nicht gedrückt werden. Kommt es weniger auf genaue Messung des Isolationswiderstandes an, so kann man den Widerstand direkt auf der Ohmskala ablesen, falls die vorhandene Betriebsspannung mit der für die Ohmskala bestimmten Spannung annähernd übereinstimmt.

Zu 3. Der Gebrauch der Kurbelinduktoren zur Messung von Isolationswiderständen an stromlosen Leitungen ist ganz ähnlich wie der der Galvanoskope. Der Unterschied besteht lediglich darin, daß man den zur Messung erforderlichen Gleichstrom nicht einer Batterie entnimmt, die im Instrument untergebracht ist, sondern mit Hilfe eines im Instrument enthaltenen Generators erzeugt, der mit der Hand in Bewegung gesetzt wird. Der Anschluß der Instrumente ist in den Abbildungen 45 bis 48 erläutert.

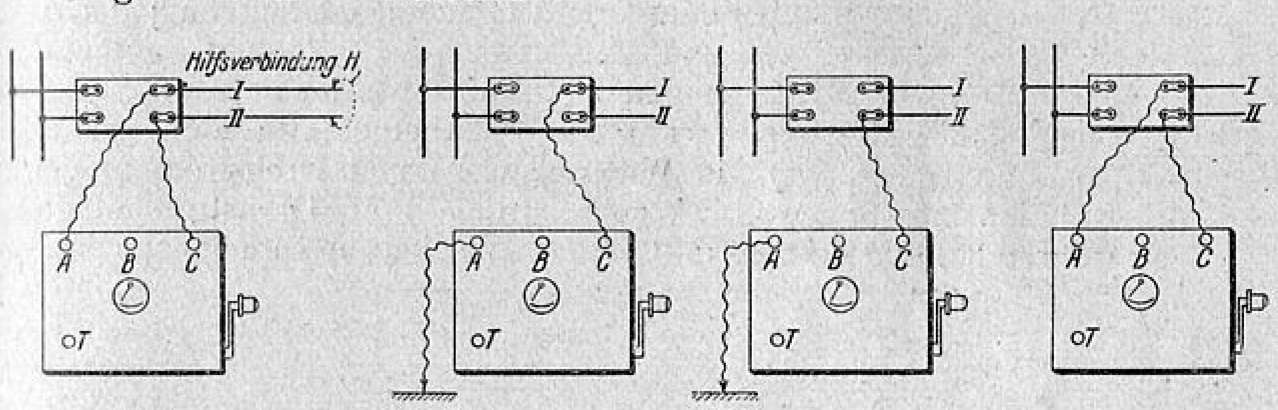


Abb. 45. Leitungsprüfung.

Abb. 46. Messung des Isolationswiderstandes der Leitung I gegen Erde.

Abb. 47. Messung des Isolationswiderstandes der Leitung II gegen Erde.

Abb. 48. Messung des Isolationswiderstandes der Leitung I gegen Leitung II.

TWL 11259

Bei dieser Messung ist man von der Netzspannung vollständig unabhängig. Zunächst drückt man den Taster T nieder und dreht dann die Kurbel so schnell und gleichmäßig, bis der Zeiger auf 0 Ohm steht. Dann wird der Taster losgelassen, die Kurbel aber mit gleichbleibender Geschwindigkeit weitergedreht. Das Instrument zeigt dann bei der Leitungsprüfung nach Abb. 45 weiter die volle Spannung, wenn die Vorbereitungen zur Messung richtig getroffen waren, bei der Messung nach Abb. 46, 47 und 48 aber den wirklichen Isolationswiderstand in Megohm unmittelbar an.

Zur Isolationsmessung der Wicklungen von Maschinen, Apparaten, Transformatoren oder dergl. gegen das Gehäuse wird ein Ende der Wicklung nachdem sie von allen anderen Teilen getrennt ist, mit Klemme C und das Gehäuse mit Klemme A verbunden.

Zu 4. Die Isolationsmessung in Wechsel- und Drehstromanlagen während des Betriebes beschränkt sich naturgemäß auf die Ermittlung des resultierenden Widerstandes der ganzen Anlage oder der sämtlichen Leitungen gegen Erde, wenn alle Stromverbraucher abgeschaltet sind. Es ist nur eine Messung an irgendeinem Punkte einer Leitung oder an der Maschinenwicklung usw. erforderlich.

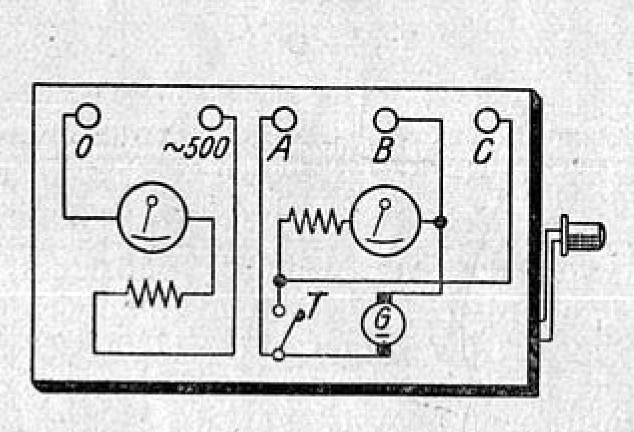
Es können aber nur Netze geprüft werden, deren Spannung gleich oder kleiner ist als der Meßbereich des Apparates. Die Messung selbst geschieht so, daß nach Anschluß des Apparates entsprechend der Abb. 49

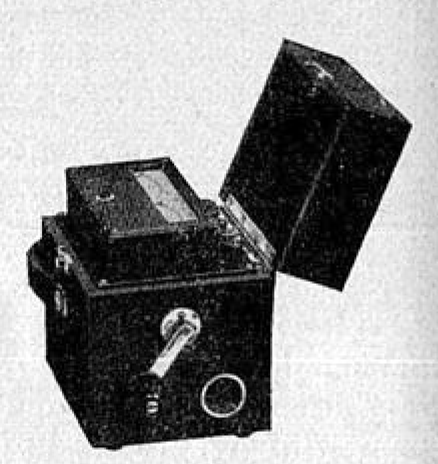
der Taster T niedergedrückt und die Kurbel so schnell und gleichmäßig gedreht wird, bis der Zeiger auf 0 Ohm steht. Dann wird der Taster losgelassen, die Kurbel aber mit gleichbleibender Geschwindigkeit weitergedreht. Das Instrument zeigt dann den Gesamtisolationswiderstand der Anlage in Megohm an.

Abb. 49. TWL 11260
Gebrauch des Kurbelinduktors zur Messung des Isolationswiderstandes einer im Betrieb befindlichen Drehstromanlage.

Der **Universalkurbelinduktor** PL Nr 79311 unterscheidet sich von einem Kurbelinduktor dadurch, daß außer dem kleinen Gleichstrom-Generator und dem Drehspul-Spannungsmesser noch ein Weicheisenspannungsmesser für Wechselstrom eingebaut ist, der mit den anderen Teilen des Apparates in keinerlei elektrischer Verbindung steht. Beide Instrumente sind für Spannungsmessungen bis 500 Volt geeignet. Der Apparat ist daher für Spannungs- und Isolationsmessungen jeder Art verwendbar, und zwar können folgende Messungen ausgeführt werden:

1.—4. Die gleichen Messungen wie bei den Kurbelinduktoren angegeben.
5. Spannungsmessungen in Wechselstrom- und Drehstromanlagen.
6. Isolationsmessungen in Wechselstrom- und Drehstromanlagen während des Betriebes mittels des Weicheisenspannungsmessers.





TWL 11261
Abb. 50. Universal-Kurbelinduktor.
Innere Schaltung, Ansicht.

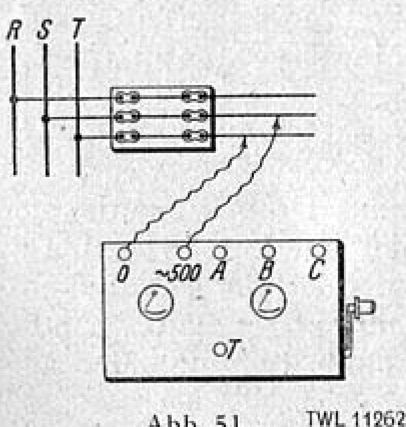


Abb. 51. TWL 11262
Spannungsmessung in Wechselstrom- und Drehstromanlagen.

Die Ansicht und die innere Schaltung des Apparates läßt Abb. 50 erkennen. Die Messungen 5 und 6 sind, wie nachstehend angegeben, auszuführen, und zwar wird hierzu der Weicheisenspannungsmesser verwendet.

Zu 5. Die Spannungsmessung in Wechselstrom- und Drehstromanlagen ist nach Schaltung Abb. 51 auszuführen. Hierbei werden die Leitungen, zwischen denen die Spannung gemessen werden soll, an die Klemmen 0 und ∼ 500 geführt.

Zu 6. Die Isolationsmessung in Wechselstrom- und Drehstromanlagen während des Betriebes mit Hilfe der Betriebsspannung kann

selbstverständlich nur ungefähre Werte ergeben, da infolge der Kapazität der Leitung gegen Erde Ladeströme auftreten, die an Intensität die Ableitungsströme weitaus übertreffen können. Bei Drehstrom kommt noch hinzu, daß infolge unsymmetrischer Belastung Spannungs-Verschiedenheiten in den Zweigen des Drehstromsystems auftreten können. Immerhin werden grobe Fehler der Isolation (Erdschlüsse) bei der Messung dadurch angezeigt, daß die Spannung erheblich von ihrem Sollwert abweicht.

Fehlerortsbestimmungen.

Die Bestimmung des Ortes, an dem ein Isolationsfehler vorliegt, ist eine der wichtigsten Arbeiten bei der Herstellung und Unterhaltung elektrischer Anlagen, weil nur durch sie der Fehler aufgefunden und beseitigt werden kann. Dabei ist zu unterscheiden zwischen der Fehlerortsbestimmung in einer verzweigten Installation und in einer einfachen unverzweigten Leitungsstrecke, wie sie etwa ein Kabel darstellt. Während man in einer Installation den Fehler mit Ueberlegung suchend ermittelt, kann man bei Kabeln und ähnlichen Leitungsstrecken von unverändertem Querschnitt den Ort des Fehlers durch eine einmalige Messung genau bestimmen. Wir unterscheiden deshalb zwischen dem Aufsuchen von Isolationsfehlern in Installationen und der Fehlerortsbestimmung in Kabelleitungen.

Aufsuchen von Isolationsfehlern in Installationen.

Um Isolationsfehler in verzweigten Installationen aufzusuchen, trennt man die einzelnen Leitungszweige stückweis von der Stammleitung ab, während man das Meßinstrument, das die Isolationsfehler anzeigt, beobachtet. In dem Augenblick, in dem die Angabe des Meßinstrumentes sich sichtbar ändert, hat man ein Leitungsstück abgetrennt, das einen erheblichen Isolationsfehler besaß. Durch weitere Unterteilung dieses Leitungsstückes und durch weitere Beobachtung des Meßinstrumentes ergibt sich schließlich der Ort, an dem der Fehler besteht. Vielfach sind Beleuchtungskörper, Schalter und Steckdosen, feuchte Räume und Wanddurchführungen ihr Sitz. Man untersuche daher zunächst diese Stellen. Scharfe Kanten, die die Isolation verletzen, zu lange Kontaktschrauben, zu weit durchgesteckte Drähte usw., die mit der Wand Berührung bekommen haben oder Feuchtigkeit, Fremdkörper und dergleichen, die dem Strom einen unbeabsichtigten Leitungsweg bieten, können ebenfalls die Ursachen der Isolationsfehler werden.

Zur Erleichterung beim Aufsuchen von Isolationsfehlern in Installationen ist jeder Schalter einmal zu betätigen, damit z. B. bei Umschaltern alle Leitungsstrecken in die Messung einbezogen werden. Bei weiterem Lokalisieren des Fehlers trennt man die Beleuchtungskörper von den Leitungen und diese an den Dosen voneinander ab. Liegen Wanddurchführungen in einer fehlerhaften Strecke, so empfiehlt es sich, den Draht, soweit wie es seine Beweglichkeit zuläßt, hin- und herzuziehen. Sofern bei der Bewegung des Drahtes eine Veränderung des Ausschlages am Meßinstrument zu beobachten ist, kann mit dem Vorhandensein eines Fehlers in dieser Wanddurchführung gerechnet werden.

Fehlerortsbestimmung in Kabelleitungen.

Zur Bestimmung des Fehlerortes gibt es mehrere Verfahren. Einige eignen sich mehr für den Laboratoriumsgebrauch und für alle Arten von Fehlern; andere sind mehr für die ausführenden Praktiker bestimmt. Letztere lassen zwar nicht die Bestimmung aller vorkommenden Fehler zu, können aber doch in der weitaus größten Zahl der Fälle angewandt werden. Zu diesen Verfahren gehört auch die Bestimmung des Fehlerortes durch Spannungsabfall. Dieses Verfahren bedingt

1. Kenntnis der Gesamtlänge des zu untersuchenden Leitungsteils,
2. gleichen Querschnitt dieses Leitungsteils an allen Stellen der Strecke,
3. drei Leitungen, von denen eine durch die Erde ersetzt werden darf,
4. Schluß mit Erde oder Bleimantel von weniger als 5000 Ohm Widerstand.

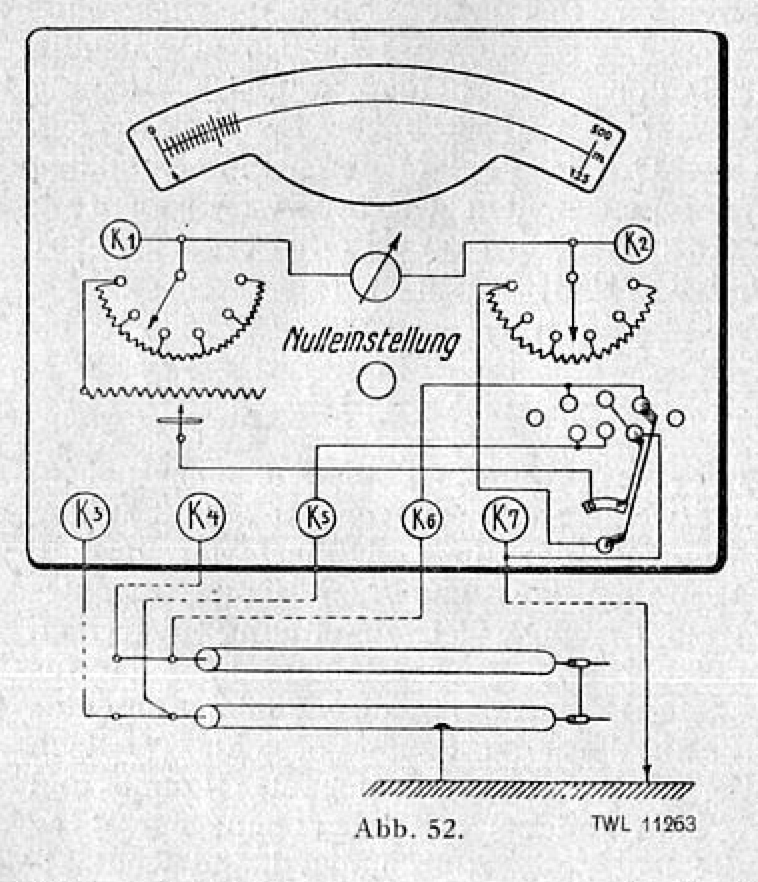


Abb. 52.

Abb. 52 zeigt die Anwendung des Apparates. Zwei starke Drähte führen über die Klemmen K 3 und K 4 den Meßstrom zu den freien Enden der zu untersuchenden Kabel. Die entfernten Enden der Kabel sind miteinander gut leitend verbunden. Zwei beliebig dünne Drähte führen von den Enden der Kabel zu den Klemmen, K 5 und K 6. Mit Klemme K 7 wird eine gute Erdverbindung hergestellt meist mit dem Bleimantel des Kabels.

Durch Druck auf K 3 wird Strom aus einer im Apparat untergebrachten Sammelzelle in das Kabel geschickt. Mit Hilfe der Regulierkurbeln wird der Zeiger des Instrumentes genau auf die Länge des zu untersuchenden Leiters eingestellt.

Ist beispielsweise das Kabel 300 m lang, so regelt man den Strom so, daß der Zeiger auf 300 steht. Nun legt man den Umschalter, der auf der Abbildung rechts sichtbar ist, auf „Erde und Kabelminus", und sofort stellt sich der Zeiger auf diejenige Zahl ein, die der Entfernung des Fehlerorts in Metern, vom Minuskabelende aus gemessen, entspricht. Ist die Zeigereinstellung dabei beispielsweise 40, so heißt das, der Fehlerort liegt 40 m vom Minuskabelende entfernt.

Das Meßgerät ist gleichzeitig ein hochempfindliches Galvanometer zur Messung kleinster Gleichströme, ferner Strommesser zur Bestimmung aller größeren Stromstärken in beliebiger Abstufung und auch Spannungsmesser für beliebige Spannungen; es dient ferner zur Bestimmung unbekannter Kabellängen in Metern.

XI. Elektrizitätszähler.

Beglaubigung der Zähler und ihre Fehlergrenzen.

Elektrizitätszähler dienen zur Messung der verbrauchten Energie bei gewerbsmäßiger Abgabe von Strom. Sie bilden also die Unterlage für die Erfüllung des Vertrages zwischen den beiden beteiligten Parteien, dem Stromlieferanten und dem Stromabnehmer.

Die Messung geschieht in Kilowattstunden gemäß Vorschrift des Gesetzes vom 1. Juli 1898, welches im Auszug folgendermaßen lautet:

> § 6. Bei der gewerbsmäßigen Abgabe elektrischer Arbeit dürfen Meßwerkzeuge, sofern sie nach den Lieferungsbedingungen zur Bestimmung der Vergütung dienen sollen, nur verwendet werden, wenn ihre Angaben auf den gesetzlichen Einheiten beruhen. Der Gebrauch unrichtiger Meßgeräte ist verboten. Der Bundesrat hat nach Anhörung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt die äußersten Grenzen der zu duldenden Abweichungen von der Richtigkeit festzusetzen.
>
> Der Bundesrat ist ermächtigt, Vorschriften darüber zu erlassen, inwieweit die im Absatz 1 bezeichneten Meßwerkzeuge amtlich beglaubigt oder einer wiederkehrenden amtlichen Überwachung unterworfen sein sollen.
>
> § 12. Wer bei der gewerbsmäßigen Abgabe elektrischer Arbeit den Bestimmungen im § 6 oder den auf Grund derselben ergehenden Verordnungen zuwiderhandelt, wird mit Geldstrafe bis zu einhundert Mark oder mit Haft bis zu vier Wochen bestraft. Neben der Strafe kann auf Einziehung der vorschriftswidrigen oder unrichtigen Meßwerkzeuge erkannt werden.

Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) hat sich ihrer Aufgabe in folgender Weise entledigt. Sie verlangt nicht, daß, wie in anderen Ländern (Oesterreich, Spanien, Japan usw.), jeder einzelne zur Verwendung gelangende Zähler amtlich geprüft werden soll, sondern sie begnügt sich mit einer sogenannten Systemprüfung, welche darin besteht, daß sie eine Auswahl von Zählern verschiedener Größen (im allgemeinen 5 Stück), welche zu diesem Zweck mit genauen Beschreibungen und Konstruktionsangaben einzureichen sind, einer sehr genauen Prüfung unterwirft.

Bei dieser Prüfung dürfen die Fehler in den Angaben des Zählers nicht größer sein als

$$\pm F = 3 + 0{,}3 \frac{P_N}{P} \text{ bei Gleichstrom}$$

$$\pm F = 3 + 0{,}2 \frac{P_N}{P} + \left(1 + 0{,}2 \frac{J_N}{J}\right) \operatorname{tg} \varphi \text{ bei Wechselstrom,}$$

wobei F den Fehler, P_N die Nennlast, P die jeweilige Last, J_N den Nennstrom, J den jeweiligen Strom, und φ den Phasenverschiebungswinkel bedeuten.

Diese Formeln legen die sogenannten „Beglaubigungsfehlergrenzen" fest, die für die verschiedenen Belastungen für Gleichstromzähler aus Abb. 53 und für Wechselstromzähler aus Abb. 54 zu ersehen sind.

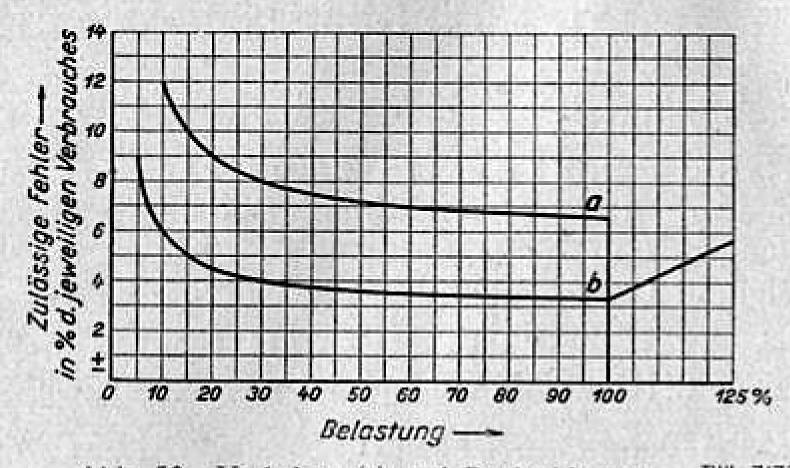


Abb. 53. Verkehrs- (a) und Beglaubigungsfehlergrenzen (b) für Gleichstromzähler.

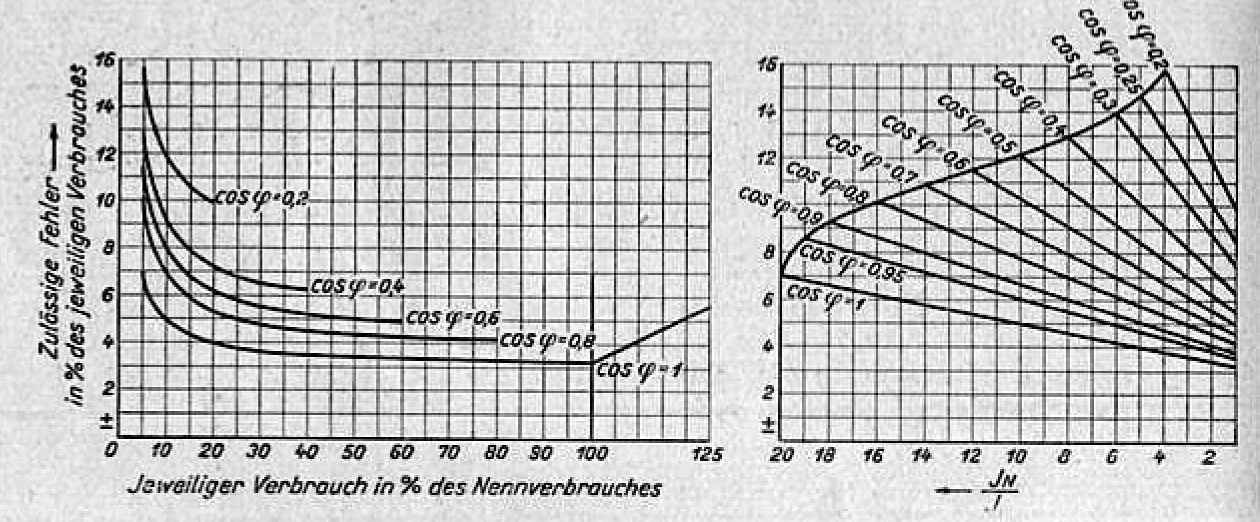


Abb. 54. Beglaubigungsfehlergrenzen für Wechselstromzähler.

Sind alle Bedingungen, welche die Behörde für die Verwendbarkeit der Zähler aufstellt, erfüllt, so werden diese für „beglaubigungsfähig" erklärt.

Die PTR. veröffentlicht das Ergebnis ihrer Untersuchungen im Auszug im Reichsanzeiger und in der ETZ. und erteilt den zur Beglaubigung zugelassenen Systemen eine Nummer als sogenanntes „Systemzeichen", und zwar mit dem beistehenden Symbol. Dieses Zeichen wird auf allen Zählern des betreffenden Systems vom Fabrikanten angebracht; es enthält auch die Nummer, unter der das System als beglaubigungsfähig erklärt ist, also z. B. 260.

Zähler eines für beglaubigungsfähig erklärten Systems können durch die Prüfämter beglaubigt werden. Diese haben an solchen Zählern nur bestimmte Versuche anzustellen.

Zur Zeit bestehen in Deutschland folgende Prüfämter: Prüfamt I Ilmenau, Prüfamt II Hamburg, Prüfamt III München, Prüfamt IV Nürnberg, Prüfamt V Chemnitz, Prüfamt VI Frankfurt a. Main, Prüfamt VII Bremen.

Befindet sich ein Zähler im Betrieb — gleichviel wie lange —, so wird nicht verlangt, daß er die Beglaubigungsfehlergrenzen einhält. Im Betrieb sind vielmehr die sogenannten „Verkehrsfehlergrenzen“ zulässig.

Diese sind, wenn P_H die Höchstlast bedeutet:

$$\pm F = 6 + 0{,}6 \frac{P_H}{P} \text{ bei Gleichstrom und}$$

$$\pm F = 6 + 0{,}6 \frac{P_H}{P} + 2 \operatorname{tg} \varphi \text{ bei Wechselstrom.}$$

Die Diagramme (Abb. 53 und 55) gestatten, die Werte der zulässigen Maximalfehler abzulesen.

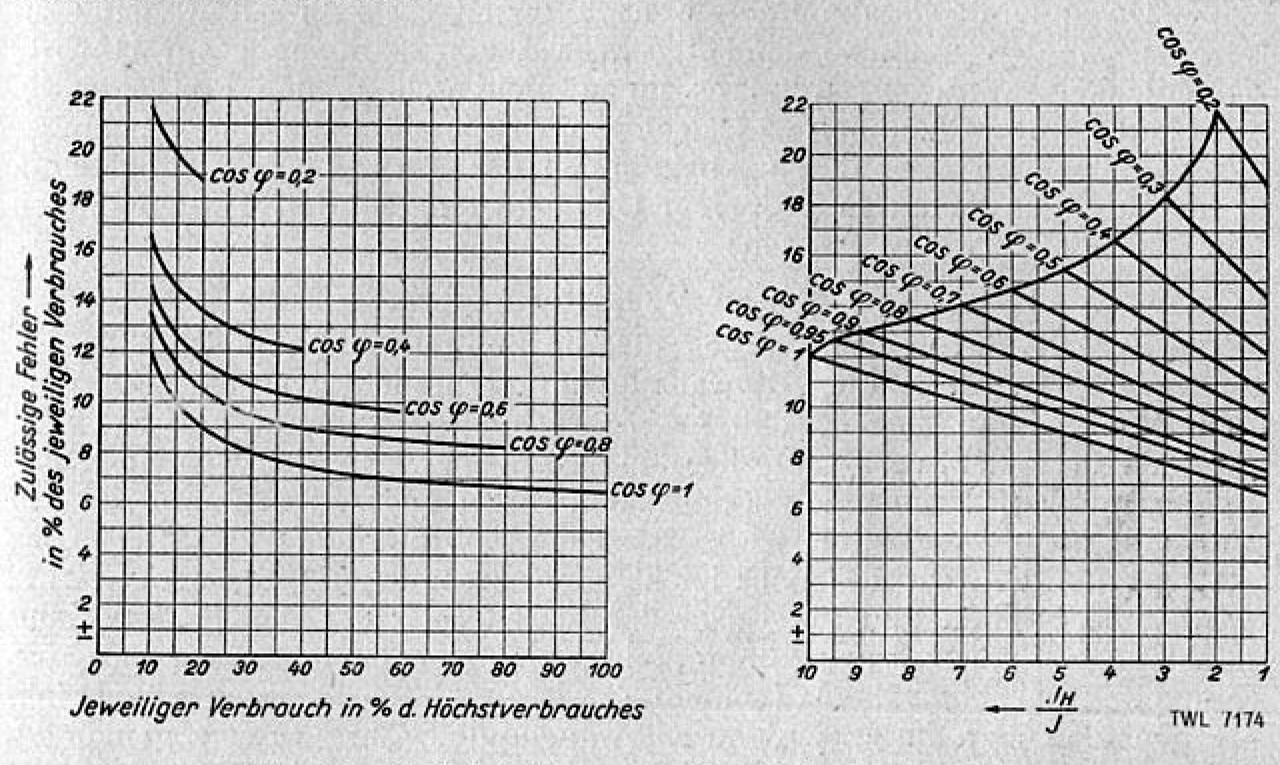


Abb. 55. Verkehrsfehlergrenzen für Wechselstromzähler.

Einteilung der Zähler.

Die Elektrizitätszähler werden in folgende Gruppen eingeteilt:

a) nach der Stromart in Gleich-, Wechsel- und Drehstromzähler,

b) nach der Art der Messung in Wattstunden- und Amperestundenzähler, ferner in direkt messende und solche mit Strom- bzw. Spannungswandlern.

Die Zähler für ein- und mehrphasigen Wechselstrom werden für unmittelbaren Anschluß nur bis 100 bzw. 200 Amp. und 550 Volt gebaut. Für höhere Stromstärken und Spannungen baut man einen Zähler für 5 Amp. 100 oder 110 Volt als „Sekundärzähler“ mit einem Strom- bzw. Spannungswandler zusammen, und erhält so ein Aggregat, das je nach der Größe der Wandler für Messungen bis 15000 Amp. und 80000 Volt ausreicht.

Ueber die Verwendung von Meßwandlern siehe Seite 238.

c) nach dem Tarif, für welchen sie Verwendung finden, in einfache und zusammengesetzte.

Tarife.

Gas und Wasser können aufgespeichert und deshalb auf Vorrat erzeugt werden.

Im Gegensatz dazu muß die elektrische Energie im allgemeinen immer dann erzeugt werden, wenn sie vom Verbraucher verlangt wird, und zwar in den Mengen, die dem Umfange seiner Anschlußanlage entsprechen. Das Elektrizitätswerk ist also genötigt, die Generatoranlage und das Verteilungsnetz nebst allem Zubehör so groß zu bemessen, daß alle angeschlossenen Verbraucher in jedem Augenblick befriedigt werden, trotzdem erfahrungsgemäß nur ein kleiner Teil dieser Energiemenge tatsächlich beansprucht wird.

Da andererseits die Energie nach dem Gesetz in Kilowattstunden verkauft werden muß, so sind die Werke von vornherein zur Unwirtschaftlichkeit verurteilt, wenn es ihnen nicht gelingt, den Preis für die verkauften Kilowattstunden so festzulegen, daß in ihm die Bereitstellungskosten allgemein oder durch Abstufungen des Tarifs berücksichtigt sind.

Von den heute in größerem Umfange eingeführten Tarifen mögen die folgenden erwähnt werden:

Der Doppeltarif.

Er geht davon aus, daß es für die Zentrale nicht gleichgültig ist, zu welcher Tageszeit die Kilowattstunden verbraucht wurden. Es muß dem Werk daran liegen, daß möglichst keine sogenannte „Spitze“ in der Kurve des Verbrauchsdiagramms entsteht. In den späten Nachmittagsstunden, wenn die Verkaufsläden noch geöffnet sind und in den Bureaus noch gearbeitet wird, ist es in Wintermonaten unter Umständen für die Zentrale nicht leicht, den gesamten Strom, der verlangt wird, aufzubringen und die Frage der Erweiterung der Anlage, die dann leicht unproduktiv werden könnte, bildet eine stete Sorge für die Betriebsleitung. Dem kann bis zu einem gewissen Grade dadurch abgeholfen werden, daß man für diejenigen Kilowattstunden, die zu der sogenannten „Sperrzeit“ verbraucht werden, einen höheren Strompreis verlangt als zu den übrigen Tageszeiten. Man veranlaßt dadurch den Verbraucher, z. B. Reklamelampen in den Verkaufsläden während dieser Zeit auszuschalten, Motoren abzustellen, die durch ihren Stromverbrauch zu dieser Zeit besonders unangenehm wirken, Kochen und Bügeln auf eine andere Stunde zu verlegen und so fort.

Es wird also ein Tarif vereinbart, der von dem Verbraucher verlangt, daß er während der Sperrzeit die Kilowattstunde teurer bezahle, als zu den übrigen Tageszeiten.

Der Maximumtarif.

Er geht von der Ueberlegung aus, daß es für das Elektrizitätswerk nachteilig ist, wenn nur vorübergehend ein großer Teil der Anschlußanlage gleichzeitig eingeschaltet wird. Der Maximumtarif hilft dem dadurch ab, daß er den Preis pro Kilowattstunde nicht von vornherein festlegt, sondern ihn davon abhängig macht, wie groß die höchste Belastung war, die während des Betriebsmonats vorgekommen ist.

Der Ueberverbrauchstarif.

Dieser Tarif beruht auf einer Vereinbarung einer Pauschalsumme für den gesamten Stromverbrauch während einer gewissen Periode unter der beschränkenden Voraussetzung, daß eine gewisse, vereinbarte Höchst-

grenze der Belastung niemals überschritten wird. Tritt dieser Fall doch ein, so ist für die mehr verbrauchten Kilowattstunden nach Angabe eines für diese Zwecke besonders gebauten Zählers ein entsprechender Betrag für die Kilowattstunde zu entrichten.

Die Tarife nach Blindverbrauch und Scheinverbrauch.

Bekanntlich ist in Anlagen mit Selbstinduktion nur ein gewisser Bruchteil des erzeugten Stromes als Leistung wirksam, so daß das Elektrizitätswerk unter Umständen stark benachteiligt wird, wenn nur dieser Wirkstrom gemessen und bezahlt wird. Will man den als Leistung nicht in Erscheinung tretenden Blindstrom, der den Anlagekostenanteil des Werkes erhöht, verrechnen, so bedarf es einer besonderen Einrichtung oder eines Zusatzes zum Zähler, um die Messung so vorzunehmen, wie das Elektrizitätswerk es mit gutem Recht verlangen kann.

Der Gebührentarif

geht von der Forderung aus, der Verbraucher müsse in erster Reihe dem Werk den Anlagekostenanteil, der im Kraftwerk, Verteilungsnetz usw. für seine Anschlußanlage notwendig ist, vergüten. Dies geschieht durch Entrichtung einer festen, vom Verbrauch unabhängigen Monatsgebühr. Häufig übernimmt auch das Werk die Erstellung der Anschlußanlage auf seine Kosten und erhöht die Gebühr dann um einen, der Amortisation des aufgewandten Kapitals entsprechenden Betrag. Dagegen pflegt der Preis der Kilowattstunde für die laufende Stromentnahme möglichst niedrig bemessen zu werden, um die Verwendung des Stromes für Kleinmotoren, Kochen und Heizen zu fördern.

Münzzähler.

Neben den Formen, welche die verschiedenen Tarife berücksichtigen, werden auch Münzzähler gebaut, die das Einkassieren der schuldigen Beträge vermitteln und den bekannten Gasautomaten entsprechen.

Der Zähler muß dann außer den Organen für die Messung solche für das Ein- und Ausschalten des Verbrauchsstromes und für das Einkassieren der Münzen besitzen.

Solche Zähler werden sowohl für den gewöhnlichen Kilowattstundentarif, als auch für verschiedene andere Tarife gebaut. Insbesondere liefert die AEG Gebühren-Münzzähler, deren Hauptvorzug der ist, daß sie nicht nur die dem laufenden Verbrauch entsprechende Anzahl von Münzen, sondern auch den Betrag der Grundgebühr einkassieren, und zwar in der Art, daß der Verbraucher erst diesen letzteren eingeworfen haben muß, bevor ihm der Kanal für die Zahlung des laufenden Bedarfs zugänglich gemacht ist.

Die AEG-Zähler.

Die AEG fabriziert folgende Grundformen von Elektrizitätszählern:

a) für Gleichstrom:

rotierende Wattstundenzähler (Abb. 56),
oszillierende Wattstundenzähler (Abb. 57 und 61),
Amperestundenzähler (Abb. 58),



Abb. 56. K 1369
Rotierender Wattstundenzähler für Gleichstrom. Form LRc.

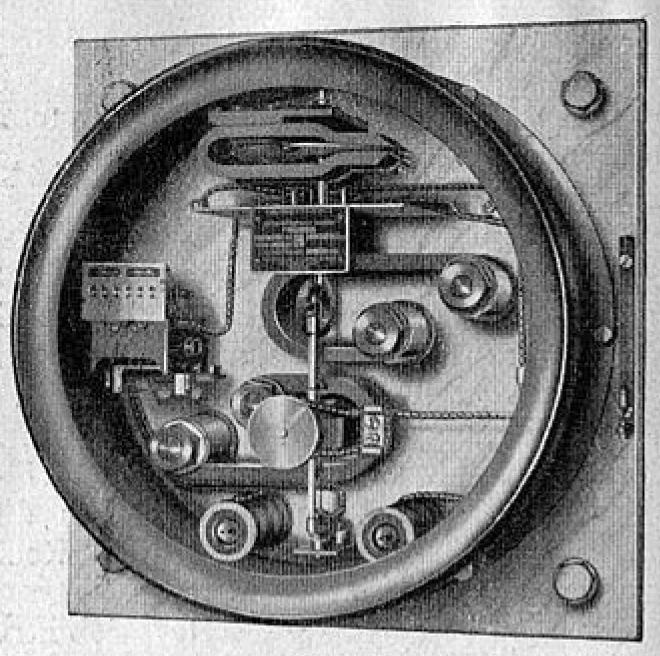


Abb. 57. K 1370
Oszillierender Wattstundenzähler für Gleichstrom von 150 Amp. aufwärts. Form GG.



Abb. 58. K 1371
Amperestundenzähler für Gleichstrom. Form Ef.



Abb. 59. K 1372
Wechselstromzähler für induktionsfreie und induktive Belastung. Form LIf.

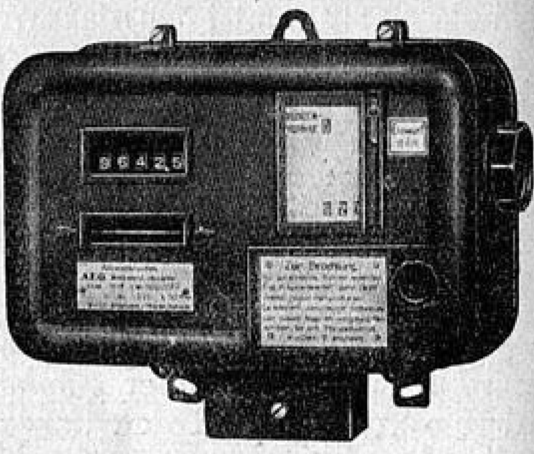


Abb. 60. K 1373
Münzzähler für Wechselstrom. Form SLIf.

b) für Einphasen-Wechselstrom:
Wattstundenzähler (Abb. 59),

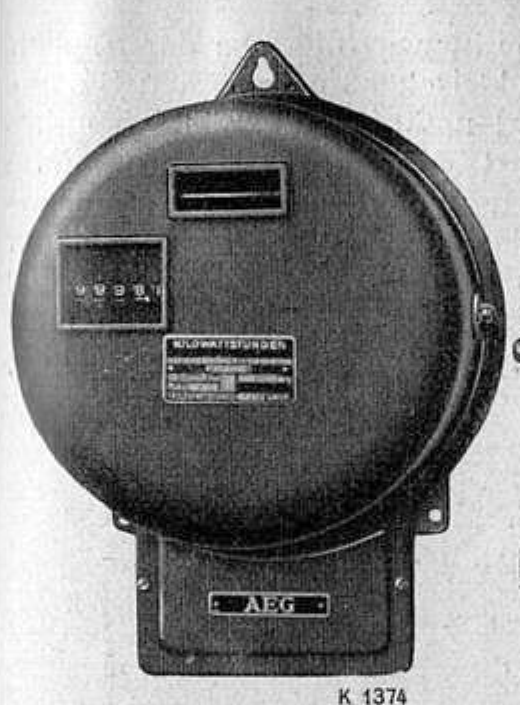
c) für Drehstrom:
Wattstundenzähler für Netze mit drei Leitungen (Abb. 62),
Wattstundenzähler für Netze mit vier Leitungen (Abb. 63).

Durch Anpassung dieser Grundformen an verschiedene Tarife entstehen eine Reihe von abgeleiteten Formen, unter denen folgende besonders erwähnenswert sind:

Doppeltarif-Zähler mit getrennter und solche mit eingebauter Uhr (Abb. 64).

Die Modifikationen für Maximumtarif werden ebenfalls mit getrennter Anordnung des Zeitmessers und mit diesem zusammengebaut hergestellt (Abb. 66).

Ferner werden Zähler für Ueberverbrauchstarif und Münzzähler geliefert (Abb. 60). Eine Abart davon bilden die sogenannten Gebühren-Münzzähler.



K 1374

Abb. 61. Oszillierender Wattstundenzähler für Gleichstrom. Form KG.



K 1375

Abb. 62. Drehstromzähler für Dreileiteranlagen. Form Df.



K 1376

Abb. 63. Drehstromzähler für Drei- und Vierleiteranlagen. Form DUf.



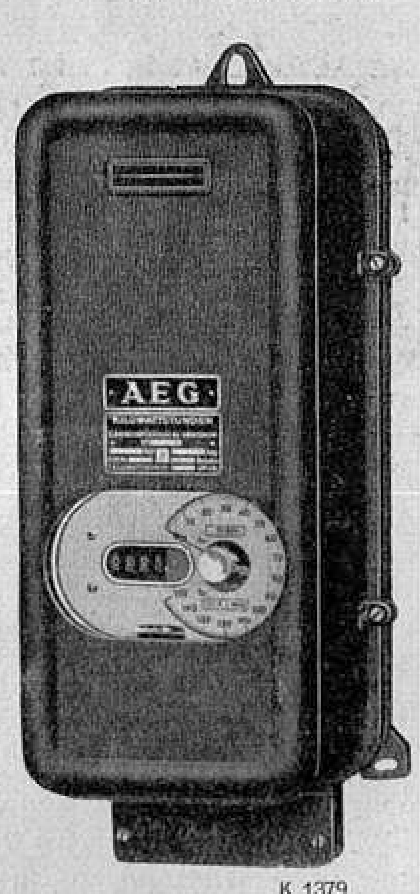
K 1377

Abb. 64. Rotierender Wattstundenzähler für Gleichstrom mit Doppeltarifzählwerk und eingebauter Schaltuhr. Form ULRc.



K 1378

Abb. 65. Drehstromzähler für Blindverbrauch. Form BVDf.

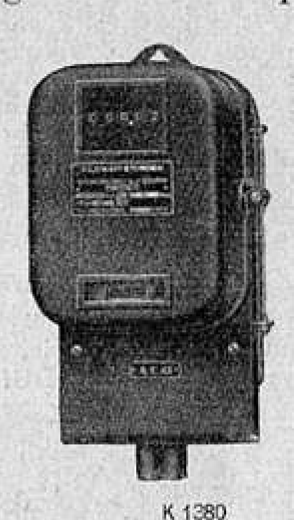


K 1379

Abb. 66. Drehstromzähler für Maximumtarif mit eingebautem Schaltmotor. Form ODf.

Ferner werden noch Sonderausführungen hergestellt, welche besonderen Zwecken dienen. Hierzu gehören die Blindverbrauchs- (Abb. 65) und die Scheinverbrauchszähler, weiterhin Zähler für Registrieren des Stromes in zwei verschiedenen Richtungen, Zähler mit Fehlermeldeanzeiger, schreibende Maximumzähler und verschiedene andere.

Die Elektrizitätswerke haben ein begreifliches Interesse daran, sich gegen die widerrechtliche Entnahme von elektrischer Energie, den Stromdiebstahl, zu schützen. Am häufigsten wird natürlich die Stelle benutzt, wo die Leitungen in den Zähler eingeführt werden. Die Stromdiebe wissen eine noch so kleine Blöße der Anschlußklemmen dazu auszunutzen, um durch Ueberbrückung den Zähler außer Wirkung zu setzen. Dieses verhüten die **Klemmenschutzkästen,** die für vorderseitigen (Abb. 67) und rückwärtigen Anschluß (Abb. 68) aller Arten von Leitungen ausgeführt werden. Sie werden an Stelle des gewöhnlichen Klemmendeckels aufgeschraubt und plombiert.



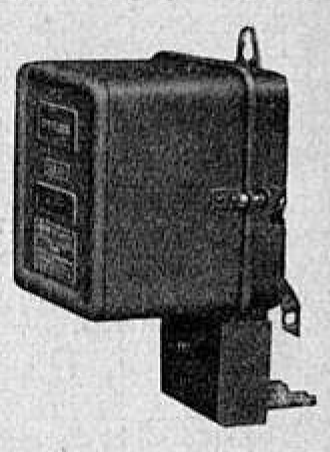
K 1380

Abb. 67. Gleichstromzähler mit Klemmenschutzkasten für vorderseitigen Anschluß der Leitungen.



K 1381

Abb. 69. Klemmenschutzkasten mit Namensschild für Gruppenaufhängung von Zählern.



K 1382

Abb. 68. Wechselstromzähler mit Klemmenschutzkasten für rückseitigen Anschluß der Leitungen.

Bei Gruppenaufhängung von Zählern für verschiedene Stromabnehmer empfiehlt es sich, die Zähler durch kleine Schilder zu kennzeichnen, die von dem Abnehmer nicht entfernt werden können. Abb. 69 zeigt einen Klemmenschutzkasten mit einem Rahmen, aus dem das Namensschild nur dann entfernt werden kann, wenn der plombierte Klemmenschutzkasten abgenommen wird.

Montage der Zähler.

Der Zähler ist ein aus größtenteils recht zarten Teilen bestehendes Instrument, etwa einer Wanduhr vergleichbar.

Zunächst müssen die Zähler so aufgehängt werden, daß eine möglichst bequeme Ablesung des Zählerstandes erfolgen kann. Hierzu gehört, daß der Raum, der für den Zähler bei der Installation der Anlage vorgesehen wird, möglichst hell ist, damit nicht Fehler bei der Aufnahme durch den Ableser gemacht werden. Ferner soll der Zähler in Augenhöhe angebracht werden.

Ferner muß eine Wand gewählt werden, die eine vertikale Aufhängung des Apparates ermöglicht. In alten Häusern, namentlich in kleinen Städten und auf dem Lande, stehen die Wände häufig so schief, daß der Zähler nicht lotrecht montiert werden kann. Dies hat bei Wechselstromzählern weniger Bedeutung als bei Gleichstromzählern, bei welchen unter Umständen auf diese Weise eine merkliche Fehlerquelle in die Messung hereingebracht wird.

Man darf ferner die Zähler nicht dem Einfluß äußerer Einwirkungen aussetzen, welche sowohl die Genauigkeit und Empfindlichkeit des Apparates beeinträchtigen, als auch seine Lebensdauer verkürzen.

Der Zähler gehört nicht in den Kohlenkeller, wo, trotz der sorgfältigsten Abdichtung, im Laufe der Jahre doch Staub eindringt, der den Apparat allmählich beeinträchtigt und zarte Teile angreift. Ebenso muß Holzstaub (in Sägewerken) der Zutritt ins Innere des Zählers dauernd verwehrt bleiben.

Man darf dabei nicht außer acht lassen, daß der Zähler durch den Stromdurchgang erwärmt wird und sich bei der Ausschaltung der Anlage wieder abkühlt. „Der Zähler atmet", wie die Fachleute sagen und saugt dadurch feine Teilchen aus der ihn umgebenden Luft an.

Wenn schon der Zähler in einem Raum, in welchem die Luft von feinem Staub erfüllt ist, aufgehängt werden muß, dann soll man ihn in ein Schutzgehäuse aus Holz oder Blech einschließen.

Besonders schädlich für die Apparate ist feuchte Luft oder solche, welche mit chemisch wirksamen Gasen durchsetzt ist. Es bedarf kaum des Hinweises darauf, daß in solchen Räumen die Zähler einer sicheren Zerstörung ausgesetzt sind.

Wo in der Nähe des Zählers noch andere stromführende Leitungen vorbeigeführt werden, besteht die Gefahr, daß eine Beeinflussung von außen her stattfindet, so daß Energie gemessen wird, die gar nicht durch den Zähler geflossen ist. Je nach der Stromrichtung kann hierdurch das Meßresultat größer oder kleiner werden, als es sein sollte.

Diese Befürchtung besteht auch dann, wenn mehrere Zähler nebeneinander montiert werden, die sich gegenseitig beeinflussen könnten. Es muß dann ein Abstand zwischen den Apparaten bei der Montage vorgesehen werden, welcher vom Zählerlieferanten angegeben werden kann. Erschütterungen und starke Temperaturänderungen schwächen die Bremsmagnete der Zähler und rufen dadurch eine Beschleunigung hervor, die sich als „Plusfehler" bemerkbar macht. Zwar werden bei guten Zählern die Magnete so hergestellt, daß die erwähnten Einflüsse nur ein gewisses, geringes Maß, und auch das nur nach Ablauf von langen Betriebsjahren erreichen. Aber es ist natürlich wünschenswert, von vornherein bei der Wahl des Standortes darauf Rücksicht zu nehmen, daß die störenden Einflüsse möglichst gering sind. Man wird also die Zähler, wenn irgendmöglich, nicht dort hinhängen, wo sie durch vorüberfahrende schwere Wagen erschüttert werden, und auch nicht in die Nähe einer Heizungsanlage.

Endlich müssen auch grobe, mechanische Verletzungen bei der Wahl des Aufhängungsortes ausgeschlossen bleiben. Man darf z. B. den Apparat nicht hinter einer Tür anbringen, die beim Oeffnen gegen ihn schlägt und die Kappe verbeult, die dann unter Umständen gegen den beweglichen Teil gedrückt wird und seine Geschwindigkeit vermindert.

Schaltbilder.

Nach den Regeln und Normen für Elektrizitätszähler

Als Normalschaltungen für Elektrizitätszähler gelten die Schaltbilder von Abb. 70 bis 79 (1—10)**. Das numerierte Schaltbild wird im Klemmendeckel des betreffenden Zählers angeordnet.

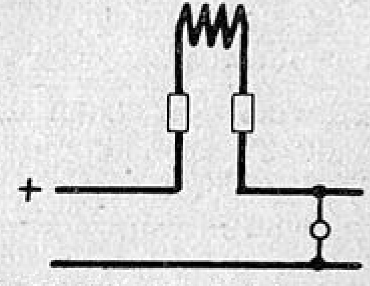


Abb. 70 (1)**. Für Gleichstrom Amperestundenzähler im +-Leiter.

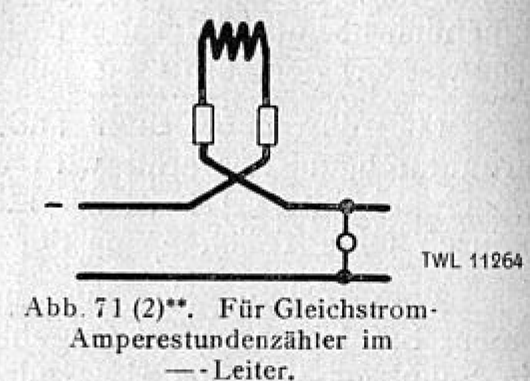


Abb. 71 (2)**. Für Gleichstrom-Amperestundenzähler im —-Leiter.

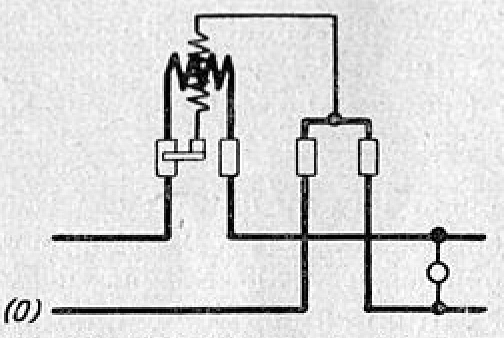


Abb. 72(3)**. Für Wattstunden-Zweileiterzähler*.

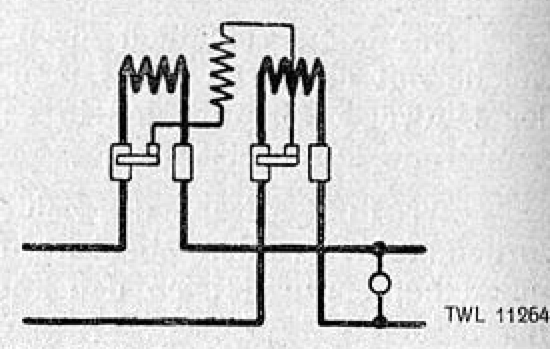


Abb. 73 (4)**. Für Wattstunden-Zweileiterzähler, doppelpolig, in Anlagen ohne geerdeten Nulleiter. (Sonderschaltung nur für Ausnahmefälle.)

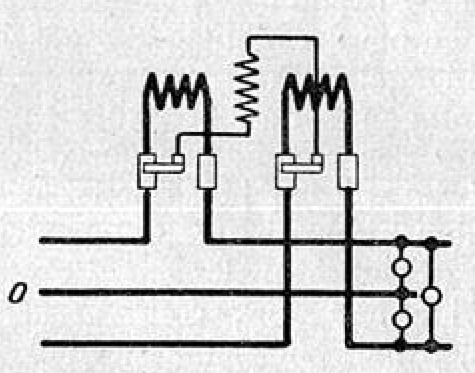


Abb. 74 (5)**. Für Wattstunden-Dreileiterzähler (Außenleiteranschluß).

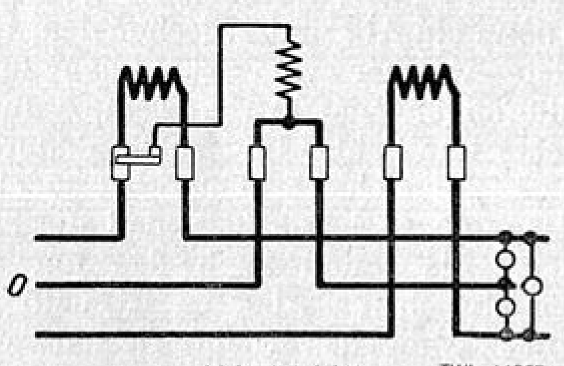


Abb. 75 (6)**. TWL 11265
Für Wattstunden-Dreileiterzähler*.

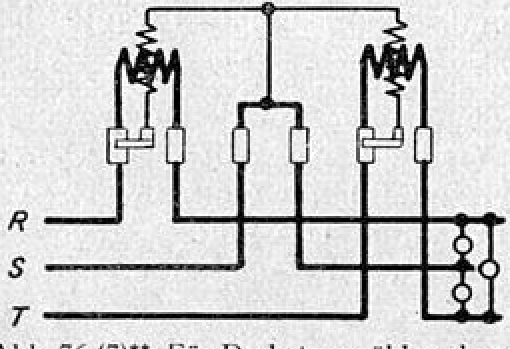


Abb. 76 (7)**. Für Drehstromzähler ohne Nulleiter*.

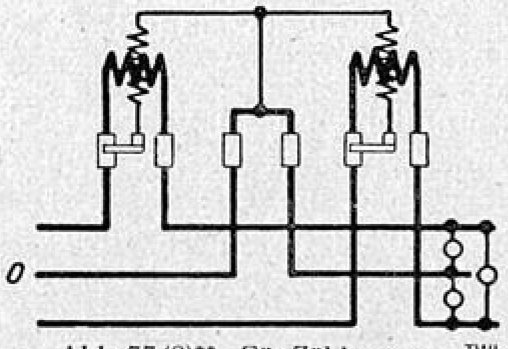


Abb. 77 (8)**. Für Zähler zum Anschluß an ein Vierleiternetz, wobei nur zwei Außenleiter und der Nulleiter benutzt werden*. TWL 11265

* Der äußere Anschluß des Spannungskreises kann anstatt durch zwei Drähte auch durch einen Draht vorgenommen werden.

** Die in Klammern stehenden Zahlen entsprechen den Normen des VDE.

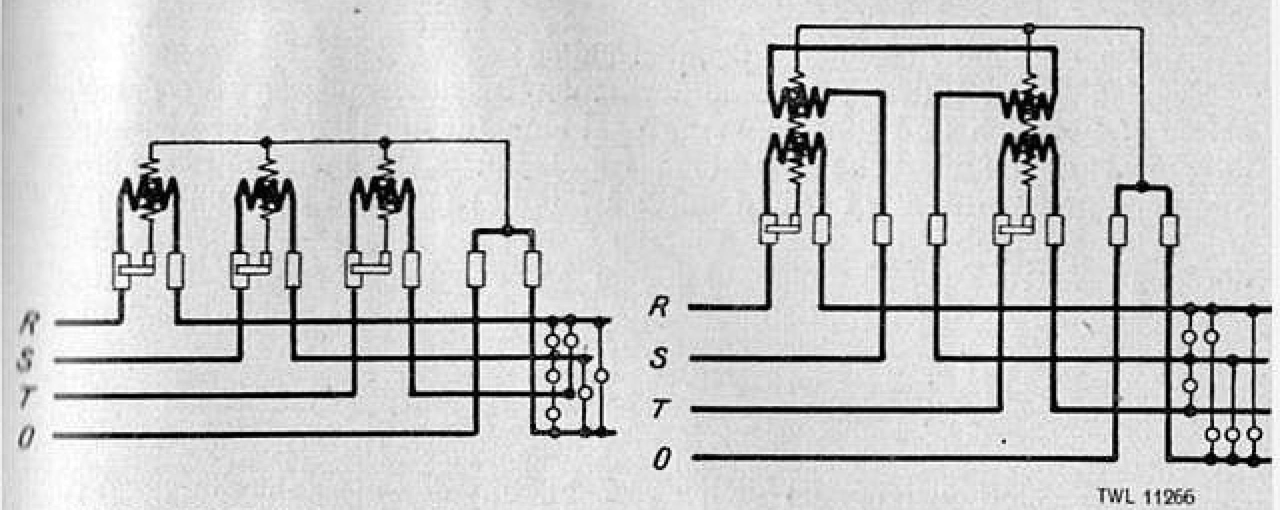


Abb. 78. (9)** Für Drehstromzähler mit Nulleiter*.

Abb. 79. (10)** Für Drehstromzähler mit Nulleiter (mit nur 2 Spannungsspulen)*.

Die Zeichen $\overset{\top}{\underset{\bot}{\circ}}$ in den Schaltbildern bedeuten allgemein — ohne Rücksicht auf die Betriebsspannung — Verbrauchsapparate. Sofern aus meßtechnischen Gründen Abweichungen von den Normalschaltungen vorgenommen werden müssen, ist durch eine besondere Aufschrift auf dem Zähler darauf hinzuweisen.

Eichung.

Unter Eichung von Meßapparaten versteht man ihre Vergleichung mit anderen, die erwiesenermaßen richtig anzeigen.

Bei Zählern kann diese Prüfung auf zwei verschiedene Arten ausgeführt werden.

Erstens kann der Zähler mit einem anderen Zähler in Reihe geschaltet und nach einer gewissen, nicht zu knapp bemessenen Zeit abgelesen werden. Die Abweichung des Zählwerkstandes von demjenigen des Normalinstrumentes ergibt den Fehler des zu prüfenden Apparates. Diese Methode ist zeitraubend und kostspielig, ganz abgesehen davon, daß sie eine stetige Nachprüfung der Normalinstrumente verlangt.

Bequemer ist die Prüfung durch Vergleichung mit einem Leistungsmesser. Die Angaben des Zählers unterscheiden sich von denen des Wattmeters dadurch, daß sie noch die Zeitdauer der jeweiligen Belastung messen. Wenn man nun dafür sorgt, daß letztere konstant ist, und wenn man die Anzeige des Leistungsmessers mit der Zeit multipliziert, so erhält man eine Zahl, die mit dem inzwischen zurückgelegten Weg des Zählwerks übereinstimmt, wenn der Zähler richtig geht. Die etwa festgestellte Abweichung bedeutet den Fehler des Zählers bei der betreffenden Belastung.

Der große Wert dieser Methode besteht darin, daß man die Fehler des Zählers bei beliebig vielen verschiedenen Belastungen feststellen und auf diese Weise eine Kurve aufstellen kann, welche die Abhängigkeit der Zählerangaben von der Belastung darstellt.

Das ist deswegen wichtig, weil der Fall eintreten kann und sehr häufig eintritt, daß ein Zähler zwar bei stärkerer Belastung noch genügend Kraft besitzt, um richtig anzuzeigen, während er bei geringer Last schon einen stärkeren Fehler aufweist, der unter Umständen eine Ueberholung oder Auswechslung abgenutzter Teile nötig macht.

* Der äußere Anschluß des Spannungskreises kann anstatt durch zwei Drähte auch durch einen Draht vorgenommen werden.

** Die in Klammern stehenden Zahlen entsprechen den Normen des VDE.

Die Eichung geschieht folgendermaßen:

Man schaltet den Zähler hinter einen Leistungsmesser von geeignetem Meßbereich und gibt dem Aggregat eine für die Dauer der Messung möglichst unveränderliche Belastung L. Dann stellt man mittels einer Stoppuhr genau die Zeit t (nicht unter 1 Minute) fest, die der Zähler zu n Umdrehungen gebraucht hat. Aus der Ablesung des Leistungsmessers, der gemessenen Zeit und der auf jedem Zähler angegebenen Zahl a der Umdrehungen pro Kilowattstunde ergibt sich dann die Zählerkonstante

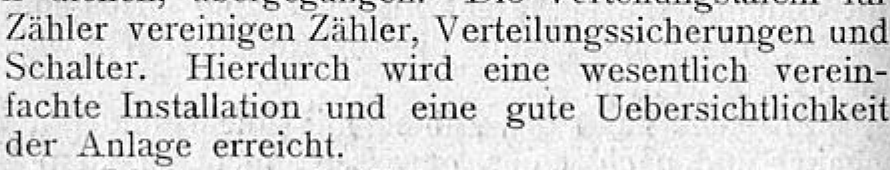
$$C = \frac{W}{A} = \frac{L \cdot t}{\frac{n}{a}}$$

Die Zählerkonstante ist diejenige Zahl, mit der die Zählerangaben A zu multiplizieren sind, um den wirklichen Verbrauch W zu erhalten. L ist in Kilowatt (kW) und t in Stunden einzusetzen. Der Fehler F (Abweichung) des Zählers ist $F = A - W$ oder in Prozenten des wirklichen Verbrauchs

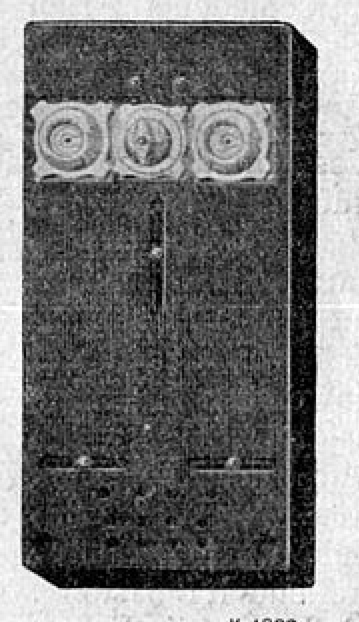
$$F\,\% = \frac{A - W}{W} \cdot 100 = \frac{1 - C}{C} \cdot 100$$

Zählertafeln.

Während man früher vielfach die Zähler auf Zählerbrettern oder verstellbaren Zählerkreuzen befestigte, ist man jetzt allgemein zur Verwendung von Zählertafeln, die gleichzeitig zur Aufnahme von Verteilungssicherungen dienen, übergegangen. Die Verteilungstafeln für



Zähler vereinigen Zähler, Verteilungssicherungen und Schalter. Hierdurch wird eine wesentlich vereinfachte Installation und eine gute Uebersichtlichkeit der Anlage erreicht.



K 1383
Abb. 80. Zählertafel aus Isoliermaterial mit 2 Sicherungen und 1 Schalter.

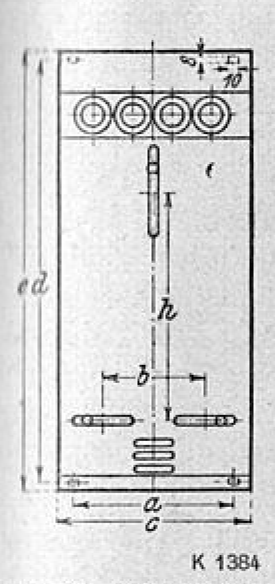
Man unterscheidet:

Zählertafeln aus Isoliermaterial,
Zählertafeln aus Stahlblech.

Die Zählertafeln aus Isoliermaterial gestatten bei gleicher Größe der Grundplatte die Montage der gebräuchlichsten Zähler für Gleich- und Wechselstrom sowie den Aufbau bis zu drei Sicherungen oder Schaltern (Abb. 80).

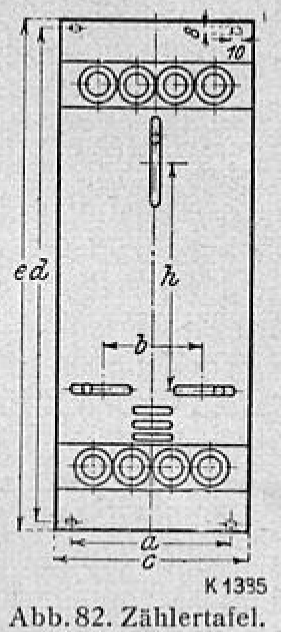
Die Zählertafeln aus Stahlblech, die ebenfalls gleichzeitig als Verteilungstafeln dienen, sind so ausgebildet, daß eine nachträgliche Erweiterung oder Aenderung der Stromkreisverteilung möglich ist, ohne die Tafeln von der Wand abzunehmen, oder die Funktion des Zählers zu stören. Durch Hinzufügen oder Auswechseln von Sicherungen und Schaltern können die nachstehend beschriebenen Zählertafeln an Ort und Stelle für jede gewünschte Stromverteilung passend gemacht werden. Reicht der auf der Zählertafel vorhandene Raum nicht aus, so wird die Erweiterung durch besondere Anbaue vorgenommen. Die Tafeln besitzen einen 60 mm hohen Rand, um die bequeme Durchführung von Isolierrohren zu ermöglichen. Zur Leitungseinführung dienen vorgepreßte Rohreinführungen; gleichartige Vorpressungen an den Längsseiten ermöglichen einen Zusammenbau mehrerer Tafeln nebeneinander.

Zählertafeln aus Stahlblech.



K 1384
Abb. 81. Zählertafel.
Größe A, B u. D.

Größe der Tafel	Für Element-einheiten	Maße in mm					
		a	b von bis	c	d	e	h von bis
Für Lichtanlagen							
A	3	160	60 160	200	408	424	140 235
B	4	190	60 186	230	419	435	140 235
C	8	190	60 186	230	504	520	140 235
Für Kraftanlagen							
D	4	190	60 186	230	504	520	225 320
E	8	190	60 186	230	589	605	225 32(

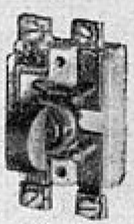


K 1385
Abb. 82. Zählertafel.
Größe C u. E.

Die Tafeln werden in 5 Größen hergestellt, und zwar die Größen A bis C vorwiegend für Lichtanlagen, D und E für Kraftanlagen (Abb. 81 und 82). Alle Einzelheiten über die Tafeln sind aus vorstehender Tabelle ersichtlich. Oberhalb des Zählers, bei den Größen C und E auch unterhalb desselben, befinden sich die Verteilungssicherungen und -Schalter, deren Sockel gleiche Größe (Elementeinheiten) besitzen (Abb. 83 und 84).



K 1386
Abb. 83.
Einpolige Sicherung mit Nullschiene.



K 1387
Abb. 84.
Einpoliger Schalter mit Nullschiene.

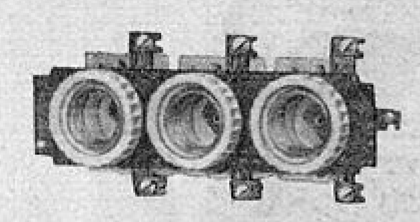


Abb. 88. K 1390
Sicherungen bis 60 Amp. mit Abdeckleiste.



Abb. 85. K 1388
Abdeckleisten.



AEG TWL 8337
Abb. 86. Zählertafel aus Stahlblech, Größe D, mit angebautem Hauptschalter.

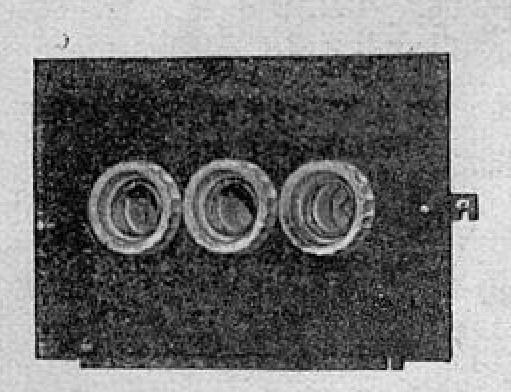


Abb. 87. K 1389
Anbau mit 3 Sicherungen.

Die Sicherungselemente sind einpolig, mit und ohne Nullschiene bis 25 Amp., 500 Volt, die Schalter einpolig, mit und ohne Nullschiene bis 6 Amp. und zweipolig bis 10 Amp., 250 Volt.

Diese Elementeinheiten sind versenkt angeordnet, auf einer abnehmbaren Schiene aufgereiht und durch besondere Abdeckleisten verdeckt. Die Abdeckleisten (Abb. 85) besitzen zum Durchlaß der Sicherungsgewinde und Schalterachsen entsprechende Oeffnungen.

Für Drehstromanlagen werden dreipolige Hauptschalter für 10, 25 und 60 Amp. verwendet, die bei der Zählertafel Größe D, deren Seitenwände entsprechend verlängert sind, unterhalb des Zählers eingebaut werden (Abb. 86). Zur Erweiterung der Stromkreisverteilung der Zählertafeln Größe B bis E über das normale Maß hinaus dienen besondere Anbauten (Abb. 87), die einerseits mit Elementeinheiten, andererseits mit einem Hauptschalter für 10, 25 oder 60 Amp. ausgerüstet werden können.

Für Anlagen bis 60 Amp. sind besondere Sicherungselemente entwickelt, die im Aufbau den für die Zählertafeln geschaffenen Elementen bis 25 Amp. entsprechen. Infolge der größeren Abmessung der Elemente für 60 Amp. sind besondere Befestigungsschienen und Abdeckleisten erforderlich. Demzufolge können bei Zählertafeln der Größe A zwei, bei den Größen B bis E drei Elemente nebeneinander montiert werden (Abb. 88).

ELEKTRISCHE BELEUCHTUNG

UND ERWÄRMUNG

I. Lichttechnik.

Elektrische Lichtquellen.

Für die allgemeine Beleuchtung kommen von den verschiedenen Arten der elektrischen Lichtquellen heute nur die luftleeren und gasgefüllten Wolframdrahtlampen in Frage, und zwar werden zweckmäßig für geringe Lichtstärken bis etwa 50 Kerzen die luftleeren Drahtlampen verwendet, für größere Lichteinheiten die gasgefüllten Lampen, die kurz als Nitralampen bezeichnet werden.

Die **luftleeren Osram-Drahtlampen** kommen in Einheiten von 5 (bzw. 10) bis zu 100 Kerzen in den Handel. Ihr Leuchtsystem besteht aus glatt gespannten Drähten in zylinderförmiger Anordnung, ihr Stromverbrauch beträgt ungefähr 1 Watt pro Kerze oder nach der neuen Bezeichnungsweise ungefähr 10 Lm/W.

Die normalen Typen der **Osram-Nitralampen** werden für einen Verbrauch von 25 Watt bei 110 Volt, bzw. 40 Watt bei 220 Volt, bis zu 2000 Watt für die einzelne Lampe hergestellt. Bei den niederkerzigen Typen von 25, 40 und 60 Watt ist die Lichtausbeute nicht so günstig wie bei den hochkerzigen oder den Vakuumlampen; sie haben den letzteren gegenüber jedoch den Vorteil der kleineren Form, der in vielen Fällen günstigeren Lichtverteilung und des weißeren Lichts. Bei den größeren Typen wird die Lichtausbeute jedoch wesentlich günstiger als bei den Vakuumlampen. Von ungefähr 500 Watt an aufwärts ist ihr Verbrauch nahezu nur noch halb so groß wie bei den luftleeren Metalldrahtlampen.

Sind die Lampen ständig starken Erschütterungen ausgesetzt, wie z. B. in Straßenbahnwagen, Webereien, so gelangen luftleere Lampen besonderer Herstellungsart, die **Osram-Bahnlampen** zur Verwendung oder die sogenannten **„Osram-Centralampen"**. Letztere werden ihrer Verwendung entsprechend vornehmlich für geringe Lichtstärken mit einem Gesamtverbrauch von 15 bis 60 Watt in Birnen- und Kugelform hergestellt. Der Leuchtdraht der Centralampen ist ähnlich dem der Nitralampen gewendelt (spiralisiert) und zickzackförmig angeordnet. Vor den gewöhnlichen Metalldrahtlampen haben sie den Vorteil, daß sie neben der erhöhten Widerstandsfähigkeit gegen mechanische Beanspruchung den Vorzug kleinerer äußerer Form und günstigerer Lichtverteilung besitzen.

Neuerdings ist es ferner gelungen, luftleere Drahtlampen für 15, 25 und 40 Watt mit Wendeldraht herzustellen, die die gleiche günstige Lichtverteilung wie die Centralampen besitzen und dabei im Stromverbrauch den luftleeren Lampen mit frei gespannten Drähten gleichwertig sind. Sie werden unter der Bezeichnung **„Osram N-Lampen"** in Tropfenform ohne Spitze hergestellt, so daß sie sich außer für Allgemeinbeleuchtung auch für dekorative Zwecke besonders eignen und in den meisten Beleuchtungskörpern sowohl die birnen- wie die kugelförmigen Lampen ersetzen können.

Alle anderen Lampenarten dienen Sonderzwecken. Glühlampen besonderer Form, wie Kerzen-, Röhren-, Soffittenlampen, Illuminationslampen usw. gehören zu der großen Gruppe der Lampen für Reklame-, Zier- und Luxusbeleuchtung. Dazu kommen die Lampen für photographische und Projektionszwecke. Von den Bogenlampen haben sich fast nur noch solche für photographische Zwecke und für Scheinwerfer behaupten können, soweit sie nicht auch in letzteren schon durch gasgefüllte Glühlampen ersetzt sind.

Einfache Beleuchtungsberechnungen für die Projektierung von Beleuchtungsanlagen.

Bei der Projektierung von Beleuchtungsanlagen ist eine wenigstens annähernde Vorausberechnung der erforderlichen Anzahl und Stärke der anzuwendenden Lampen unerläßlich, wenn in der fertigen Anlage eine ausreichende Beleuchtung bei angemessenem Stromverbrauch erzielt werden soll; denn es kommt nicht darauf an, daß beleuchtet wird, sondern wie beleuchtet wird. Das Haupterfordernis ist eine genügend hohe Beleuchtungsstärke, da diese für ein einwandfreies Arbeiten des Auges ohne vorzeitige Ermüdung Voraussetzung ist. Ebenso wichtig ist die Vermeidung der Blendung durch Wahl geeigneter lichttechnisch einwandfreier Beleuchtungskörper. Hierbei ist gleichzeitig auf die richtige Verteilung von Licht und Schatten (direkte, halbindirekte und indirekte Beleuchtung) Wert zu legen und die Frage der günstigsten Lichtfarbe (künstliches Tageslicht, farbiges Licht) zu prüfen. Die früher meist verbreitete Berechnung der erforderlichen Gesamt-Kerzenzahl auf Grund von Hilfstabellen über die für verschiedene Raumarten in Frage kommende Kerzenzahl pro Quadratmeter ist heute nicht mehr angebracht, zumal für einen großen Teil der jetzt gebräuchlichen Glühlampen nicht mehr die Kerzenzahl, sondern ihr Wattverbrauch normalerweise angegeben wird.

Erheblich zuverlässiger in ihren Ergebnissen und kaum umständlicher im Gebrauch als die Kerzenmethode ist die neuerdings meist benutzte Wirkungsgradmethode zur Berechnung der Beleuchtung. Der Wirkungsgrad einer Beleuchtungsanlage ist gleich dem Verhältnis des wirklich ausgenutzten Lichtstroms zu dem aufgewandten Gesamtlichtstrom. Soll ein Raum mit der Bodenfläche F eine mittlere Beleuchtung von E Lux erhalten, so sind hierfür bei einem Wirkungsgrad der Beleuchtung von $w\%$ im ganzen z Lampen von einer mittleren sphärischen Lichtstärke J_0 erforderlich. Je nachdem die erforderliche Lampenzahl z oder die Lichtstärke einer einzelnen Lampe vorausberechnet werden soll, können hierfür folgende Formeln benutzt werden:

$$z = \frac{8 \cdot E \cdot F}{w \cdot J_0} \quad \text{oder} \quad J_0 = \frac{8 \cdot E \cdot F}{w \cdot z}.$$

Die für verschiedene Arten von Innenräumen sowie für Straßen und Plätze angemessene mittlere Beleuchtung E geht aus der schaubildlichen Darstellung auf der nächsten Seite hervor. Zum Vergleich mit der früher benutzten Kerzenmethode sei als Anhaltspunkt angegeben, daß die mittlere Beleuchtung ungefähr vier- bis fünfmal so groß ist als die erforderliche Kerzenzahl für 1 qm Bodenfläche.

Der Wirkungsgrad einer Beleuchtungsanlage hängt in Innenräumen in hohem Maße von der Beschaffenheit der Wände und Decken ab; er ist um so größer, je heller diese gehalten sind. Anhaltspunkte für die Größe des Wirkungsgrads geben die Tabellen 1—3 (entnommen aus dem Buche „Lichttechnik", herausgegeben von Dr. L. Bloch, München und Berlin 1921). Sie gelten sowohl für direkte Beleuchtung, bei der die Lampen ihr Licht unmittelbar nach unten aussenden, wie auch für die heute vielfach angewandte halb indirekte Beleuchtung, bei der ein großer Teil des Lichts erst nach der hell gehaltenen Decke gelangt und von dieser reflektiert wird. Der Wirkungsgrad ist bei dieser Beleuchtungsart nicht wesentlich ungünstiger als bei direkter Beleuchtung. Etwas niedriger fällt er

Angaben für die Bemessung der Beleuchtung.

5 6 8 10 15 20 25 30 35 40 50 60 80 100 150 200 250 Lux

Bereich	Angaben
Geschäftsräume Verwaltungsgebäude	Lagerräume; Korridore Nebenräume; Einfache kaufmännische Büros; Rechen- und Schreibbüros; Zeichenbüros; Sitzungssäle; Konferenzzimmer; Verkaufsräume mit einfacher reichl. Bel.
Schaufenster	Helle Waren; Dunkle Waren
Fabriken	Korridore Nebenräume; Werkstatt für einfache Arbeiten Gießerei und Schmiede; Werkstatt für feine Arbeiten Maschinen-Fabriken Formerei Weberei Tischlerei Spinnerei; Werkstatt für Lithographen; Feinmechanik; Druckerei; Graveure Setzerei
Hotel Restaurant	Korridore Nebenräume; Einfache Fremden-Zimmer; Küchen u. Büros; Elegante Fremden-Zimmer; Gesellschafts- und Restaurationsräume; Festsäle und Konzertsäle mit einfacher reichlicher Beleuchtung
Schulen	Korridore Nebenräume; Turnhallen; Schulzimmer Hörsäle Lehrerzimmer; Zeichensäle
Krankenanstalten	Korridore Nebenräume; Schlafsäle; Waschküchen; Speisesäle Aufenthaltsräume; Kochküchen; Operationssäle

5 6 8 10 15 20 25 30 35 40 50 60 80 100 150 200 250 Lux

0,5 0,6 0,8 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 5,0 6,0 8,0 10 Lux

Bereich	Angaben
Straßen und Plätze	Nebenstraßen mit schwachem Verkehr; Straßen mit mittlerem Verkehr; Hauptstraßen mit starkem Verkehr

0,5 0,6 0,8 1,0 1,5 2,0 2,5 3,0 3,5 4,0 5,0 6,0 8,0 10 Lux

dagegen bei der ganz indirekten Beleuchtung aus, bei der das Licht ausschließlich nach der Decke ausgestrahlt und von hier reflektiert wird. Die hierfür maßgebenden Werte sind in der Tabelle 2 angeführt.

Von der Aufhängehöhe der Lampen im Raume ist der Wirkungsgrad bei hellen Decken und Wänden nicht in erheblichem Maße abhängig. Der Einfluß vergrößerter Aufhängehöhe wird in diesem Falle durch die vermehrte Wand- und Deckenreflexion zum größten Teil ausgeglichen. Bei mittelhellen oder dunklen Wänden und Decken ist der Wirkungsgrad mit einem Wert in Rechnung zu setzen, der innerhalb der in den Tabellen angegebenen Grenzen liegt, aber um so größer ist, je niedriger die Lampe aufgehängt wird. In Wohnräumen wählt man die Aufhängehöhe der festen Beleuchtungskörper etwa $2^1/_4$ bis $2^1/_2$ m, in Restaurations- und Geschäftsräumen bis zu etwa 3 m über dem Fußboden.

Bei der Beleuchtung von Straßen und Plätzen und anderen Außenräumen hängt die Wirkung der Beleuchtung hauptsächlich von der Art der Lichtausstrahlung der angewandten Lampen und des Reflektors ab. Je nachdem die größte Lichtstärke unmittelbar nach unten, mehr seitlich oder horizontal und nach oben ausgestrahlt wird, unterscheidet man zwischen tiefstrahlenden und hochstrahlenden Armaturen. Die für sie geltenden Wirkungsgrade der Beleuchtung sind aus Tabelle 3 zu entnehmen. Der Wirkungsgrad ist hier außerdem von dem Verhältnis zwischen Straßenbreite und Aufhängehöhe abhängig, wodurch der Einfluß verschiedener Aufhängehöhe berücksichtigt wird. Die Aufhängehöhe der Lampen für Straßenbeleuchtung hängt hauptsächlich von der Lichtstärke der Lampen ab. Starke Lampen wird man auch entsprechend höher aufhängen. Einen Anhaltspunkt hierfür gibt die Formel:

$$h = 3{,}5 + \frac{\sqrt{J}}{10}.$$

Sie gestattet die angemessene Aufhängehöhe h in m für 1 Lampe von J Kerzen auszurechnen.

In vielen Fällen kann man für annähernde Beleuchtungsberechnungen mit einem Wirkungsgrad von 40 % ungefähr richtige Durchschnittswerte erhalten. Zur Erleichterung dienen in diesem Falle die aus dem oben angeführten Buche entnommenen beiden Tabellen 4 und 5. Die erste gilt für gasgefüllte Metalldrahtlampen von 40 bis 2000 Watt, die zweite für luftleere Metalldrahtlampen von 5 bis 100 Kerzen. Sie geben die Bodenfläche für je eine Lampe bei einer mittleren Beleuchtung von 2 bis 100 Lux an. Ist die vorzusehende mittlere Beleuchtung kleiner als 2 Lux, so sucht man die für den 10- oder 100fachen Wert der Beleuchtung sich ergebende Größe der Bodenfläche und multipliziert diese mit 10 oder 100. Die in den Tabellen eingeklammerten Werte der Bodenfläche kommen für praktische Verwendung nicht in Frage. Auf der linken Seite der Tabelle befindet sich jeweils die Lichtstärke und der Verbrauch der in Frage kommenden normalen Typen von gasgefüllten und luftleeren Metalldrahtlampen für 220 und 110 Volt angegeben. Die Tabelle 4 ist für die Verwendung von Lampen für 220 Volt aufgestellt. Kommt eine Betriebsspannung von 110 Volt in Frage, so sind die der Tabelle entnommenen Werte im Verhältnis der Lichtstärken umzurechnen, die in den beiden ersten Spalten auf der linken Seite angegeben sind. Die Tabelle 5 für luftleere Metalldrahtlampen gilt für beliebige Betriebsspannung.

Ist die zu berechnende Beleuchtungsanlage so beschaffen, daß der Wirkungsgrad von dem Durchschnittswert von 40% erheblich abweicht, können die beiden Tabellen doch benutzt und die daraus entnommenen Werte im Verhältnis der Wirkungsgrade umgerechnet werden.

Angaben für den Wirkungsgrad der Beleuchtung.

Tabelle 1.

Wirkungsgrad für direkte und halbindirekte Beleuchtung von Innenräumen.

		Zustand der Decke		
		Hell	Mittel	Dunkel
		%	%	%
Zustand der Wände	Hell	(55—45) **50**	(50—40) **45**	(45—35) **40**
	Mittel	(50—40) **45**	(45—35) **40**	(40—30) **35**
	Dunkel	(45—35) **40**	(40—30) **35**	(35—20) **30**

Tabelle 2.

Wirkungsgrad für indirekte Beleuchtung von Innenräumen.

		Zustand der Decke		
		Hell	Mittel	Dunkel
		%	%	%
Zustand der Wände	Hell	(40—30) **35**	(30—20) **25**	(20—10) **15**
	Mittel	(35—25) **30**	(25—15) **20**	(15—5) **10**
	Dunkel	(30—20) **25**	(20—10) **15**	(10—0) **5**

Tabelle 3.

Wirkungsgrad für Straßenbeleuchtung.

		Art der Lichtverteilung		
		Tiefstrahlend	Breitstrahlend	Hochstrahlend
		%	%	%
$\frac{\text{Straßenbreite}}{\text{Aufhängehöhe}}$	Über 6	(55—45) **50**	(50—40) **45**	(45—35) **40**
	Von 3 bis 6	(50—40) **45**	(45—35) **40**	(40—30) **35**
	Unter 3	(45—35) **40**	(40—30) **35**	(35—20) **30**

Zwei Beispiele sollen die Anwendung der Tabellen erläutern:

1. Ein für eine Schlosserei benutzter Fabrikraum von 1000 qm Bodenfläche soll mit gasgefüllten Lampen für 300 Watt 220 Volt beleuchtet werden. Aus der Zusammenstellung auf Seite 278 wird als erforderliche Beleuchtung für Maschinenfabriken 30 Lux entnommen. Aus Tabelle 4 ergibt sich unter dieser Annahme eine Bodenfläche von 57 qm für eine Lampe von 300 Watt. Es sind demnach im ganzen $^{1000}/_{57} = 18$ Lampen zur Beleuchtung des Raumes erforderlich.

Würde im vorliegenden Falle die Beleuchtung mit Wiskottreflektoren ausgeführt werden, die eine besonders gute Ausnützung des Lichts erzielen lassen, so könnte man einen Wirkungsrad von ca. 60 % erreichen. Die Bodenfläche für eine Lampe wäre dann $57 \cdot \frac{60}{40} = 85$ und man käme mit $^{1000}/_{85} = 12$ Lampen für die Beleuchtung des Raumes aus.

2. Eine Nebenstraße von 12 m Breite soll mit luftleeren Metalldrahtlampen für 50 Hk eine mittlere Beleuchtung von 1 Lux erhalten. Der erforderliche Lampenabstand ist zu ermitteln. Aus der Tabelle 5 ergibt sich für 10 Lux eine Bodenfläche von 20 qm für eine 50-kerzige Lampe, für 1 Lux also 200 qm. Hiernach entfällt auf $^{200}/_{12} = 16{,}5$ m Straßenlänge eine Lampe und man wird die Laternen zu beiden Seiten der Straße in je 33 m Abstand, in der Straßenrichtung gemessen, gegeneinander versetzt anbringen.

Die Wirkungsgradmethode sowie auch die genaueren Verfahren zur Vorausberechnung der Beleuchtung gehen auf die Ermittlung der mittleren Horizontalbeleuchtung der Raum- oder Straßenfläche hinaus. Daneben interessiert die Kenntnis der maximalen und der minimalen Horizontalbeleuchtung, wenn man ein genaues Bild von dem Charakter einer Beleuchtungsanlage erhalten will. Die Berechnung dieser Größen erfolgt mit Benutzung der Formel:

$$E_{hor} = \frac{J \cdot h}{\sqrt{a^2 + h^2}^{\,3}}$$

Diese Formel gestattet die Beleuchtung E_{hor} einer horizontalen Fläche an beliebiger Stelle zu berechnen, soweit sie von einer Lampe allein herrührt, wenn die Lichtstärke J der Lampe in der entsprechenden Ausstrahlungsrichtung, die Aufhängehöhe h und der Abstand a des in Betracht gezogenen Punktes vom Lampenfußpunkt in Metern angegeben sind. Die Lichtstärke J wird aus der Lichtverteilungskurve der benutzten Lampe entnommen. Die Berechnung von E_{hor} wird durch Benutzung einer Tabelle etwa in der Art von Tabelle 6 erleichtert, die für eine Lichtstärke J von einer Kerze und Aufhängehöhen sowie Abstände von 1 bis 10 m aufgestellt ist. Wirken mehrere an verschiedenen Stellen aufgehängte Lampen zur Beleuchtung derselben Stelle zusammen, so sind die Horizontalbeleuchtungen für die verschiedenen Lampen unter Benutzung der entsprechenden Lichtstärken, Aufhängehöhen und Lampenabstände zu berechnen und zu addieren, um die tatsächliche Horizontalbeleuchtung der betreffenden Stelle zu erhalten. Das Verhältnis der maximalen zur minimalen Beleuchtung eines Raumes oder einer Straßenfläche wird als Ungleichmäßigkeit der Beleuchtung bezeichnet.

Angaben zur angenäherten Beleuchtungsberechnung.

(für 40 % Wirkungsgrad)

Tabelle 4.

Bodenfläche für eine **gasgefüllte Metalldrahtlampe.**

Verbrauch für eine Lampe Watt	Sphärische Lichtstärke bei 220 Volt HK₀	Sphärische Lichtstärke bei 110 Volt HK₀	Bodenfläche in qm bei 220 Volt und einer mittleren Beleuchtung von Lux: 2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
40	25	33	62	25	12	8,3	6,2	5	4,1	3,1	2,5	2	1,8	1,5	1,4	0,6
60	44	55	110	44	22	14	11	8,8	7,3	5,5	4,4	3,6	3,1	2,7	2,4	2,2
75	60	74	150	60	30	20	15	12	10	7,5	6	5	4,3	3,7	3,3	3,0
100	88	105	220	88	44	29	22	17	14,5	11	8,8	7,3	6,3	5,5	4,9	4,4
150	147	172	367	147	73	49	36	29	24	18	14	12	10,5	9,2	8,2	7,3
200	211	244	527	211	105	70	52	42	35	26	21	17	15	13	11,7	10,5
300	345	390	862	345	172	115	86	69	57	43	34	29	25	21	19,2	17,2
500	633	694	1582	633	316	211	158	126	106	79	63	53	45	40	35	32
750	1014	1103	(2535)	1014	507	338	253	203	169	127	101	84	72	63	56	51
1000	1389	1515	(3470)	1389	694	463	347	278	231	174	139	116	99	87	77	69
1500	2206	2344	(5510)	(2206)	1103	735	551	441	367	275	220	184	157	138	122	110
2000	3030	3175	(7570)	(3030)	1515	1010	758	606	505	380	303	252	216	190	168	150

Tabelle 5.

Bodenfläche für eine **luftleere Metalldrahtlampe.**

Horizontale Lichtstärke HK hor.	Verbrauch für eine Lampe bei 220 Volt Watt	Verbrauch für eine Lampe bei 110 Volt Watt	Bodenfläche in qm bei einer mittleren Beleuchtung von Lux: 2	5	10	15	20	25	30	40	50	60	70	80	90	100
5	—	6,4	10	4,0	2,0	1,3	1,0	(0,8)	(0,66)	(0,5)	(0,4)	(0,33)	(0,28)	(0,25)	(0,22)	(0,2)
10	12,8	11,1	20	8,0	4,0	2,6	2.0	1,6	1,3	1,0	(0,8)	(0,66)	(0,57)	(0,5)	(0,44)	(0,4)
16	18,6	16,5	32	12,8	6.4	4,3	3,2	2,6	2,1	1,6	1,28	1,07	0,91	(0,8)	(0,71)	(0,64)
25	26,8	24,0	50	20	10	6,6	5,0	4,0	3,3	2,5	2,0	1,66	1,43	1,25	1,11	1,0
32	35,2	31,0	64	25,6	12.8	8,5	6.4	5.1	4,2	3,2	2,5	2,1	1,8	1,6	1,4	1,28
50	52,5	47,5	100	40	20	13	10	8,0	6,6	5,0	4,0	3.3	2.8	2.5	2,2	2,0
100	105,0	97,0	200	80	40	26	20	16	13	10	8.0	6.6	5.7	5,0	4,5	4,0

Tabelle 6.

Beleuchtung in Lux

bei verschiedenen Höhen und horizontalen Abständen, bezogen auf 1 Hefnerkerze.

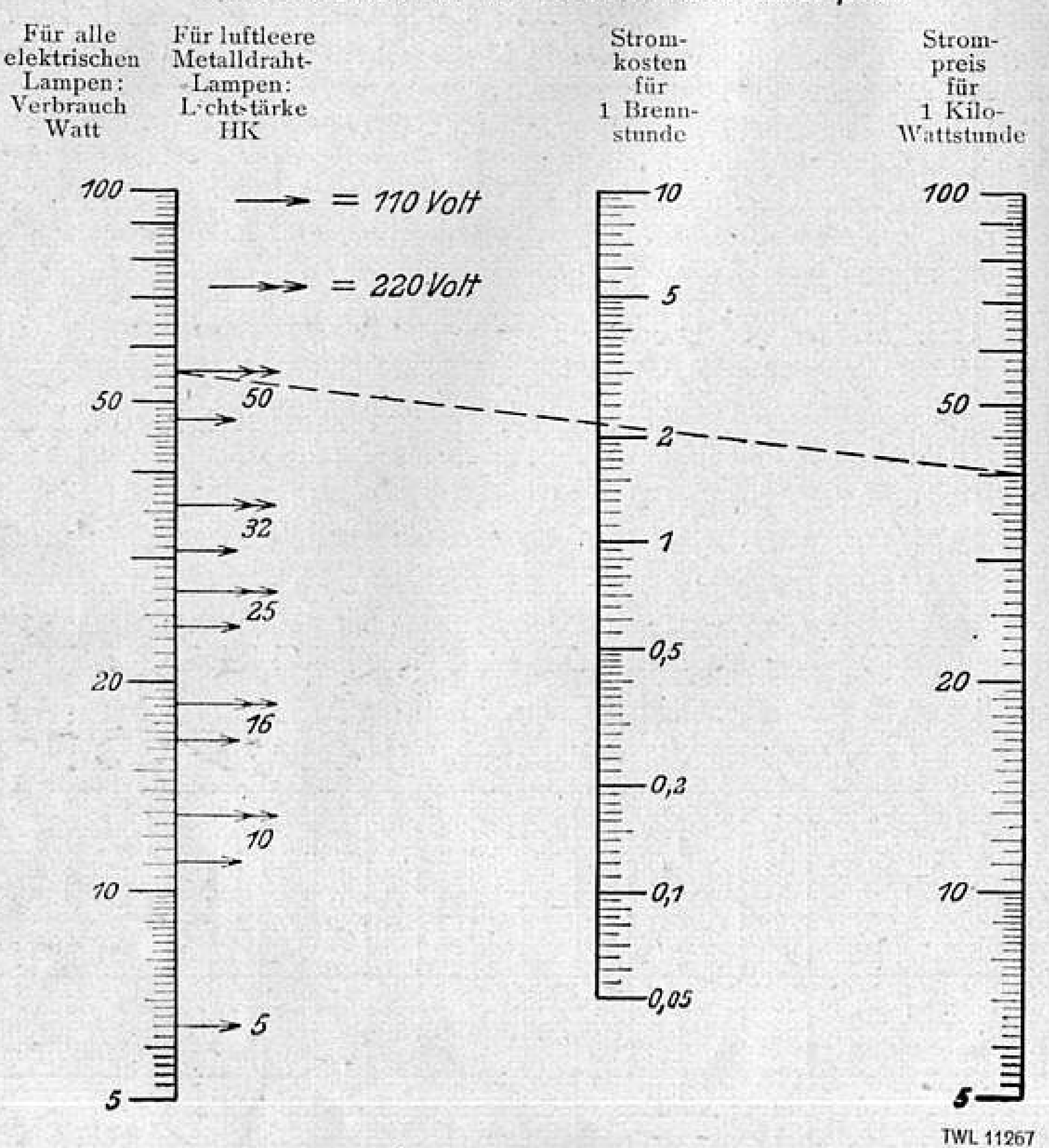
Aufhänge-höhe (h) in m	Horizontaler Abstand vom Lampenfußpunkt (a) in m									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0,356	0,09	0,0316	0.0142	0,0076	0,0045	0,0029	0,0020	0,0013	0,0009
2	0,1785	0,0855	0,0427	0.0223	0.0128	0,009	0,0052	0,0035	0,0025	0,0018
3	0,0945	0,0645	0,0391	0,0241	0,0152	0.0096	0.0068	0,0047	0.0035	0,0026
4	0,0571	0,0445	0,0320	0,0220	0,0151	0,0109	0,0069	0.0056	0.0041	0,0032
5	0.0378	0,0321	0,0254	0.0189	0,014	0,0105	0,0078	0.0059	0,0046	0.0036
6	0,0269	0,0238	0,0191	0,0164	0.0125	0,0098	0,0076	0,0060	0,0048	0.0038
7	0,0198	0,0181	0.0187	0.0119	0,0109	0.0089	0.0072	0,0058	0.0047	0.0037
8	0,0151	0,0141	0,0126	0.0110	0.0095	0,0080	0,0066	0,0056	0,0045	0.0037
9	0,0119	0.0112	0,0104	0,0090	0.0082	0.0073	0.0061	0.0050	0,0044	0,0036
10	0,0098	0.0094	0.0089	0.0081	0,0071	0,0063	0.0054	0.0048	0.0041	0.0035

Tabelle der Dunkelstunden

bezogen auf den Meridian von Berlin 13° 23′ 44″ östlich von Greenwich.

Zeitdauer	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Im Jahre	In 300 Tagen
Von Sonnen-Untergang bis 4 Uhr abends	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1	7	9	8
„ 5 „ „	18	2	—	—	—	—	—	—	—	4	27	38	89	73
„ 6 „ „	49	24	3	—	—	—	—	—	2	29	57	69	233	192
„ 7 „ „	80	52	29	4	—	—	—	1	23	60	87	100	436	359
„ 8 „ „	111	80	60	32	7	—	1	20	53	91	117	131	703	578
„ 9 „ „	142	108	91	62	37	20	24	51	83	122	147	162	1049	862
„ 10 „ „	173	136	122	92	68	50	55	82	113	153	177	193	1414	1161
„ 11 „ „	204	164	153	122	99	80	86	113	143	184	207	224	1779	1462
„ 12 „ „	235	192	184	152	130	110	117	144	173	215	237	255	2144	1762
„ Sonnen-Aufgang	485	397	378	304	257	220	241	292	341	416	459	506	4296	3531
Bis Sonnen-Aufgang von Mitternacht	250	205	194	152	127	110	124	148	168	201	222	251	2152	1769
„ 1 Uhr morgens	219	177	163	122	96	80	93	117	138	170	192	220	1787	1469
„ 2 „ „	188	149	132	92	65	50	62	86	108	139	162	189	1422	1169
„ 3 „ „	157	121	101	62	34	20	31	55	78	108	132	158	1057	869
„ 4 „ „	126	93	70	32	5	—	2	24	48	77	102	127	706	581
„ 5 „ „	95	65	39	6	—	—	—	1	18	46	72	96	438	360
„ 6 „ „	64	37	10	—	—	—	—	—	—	15	42	65	233	192
„ 7 „ „	33	10	—	—	—	—	—	—	—	—	12	34	89	73
„ 8 „ „	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	4	7	7

Betriebskosten für elektrische Lampen.



Die Betriebskosten für eine elektrische Lampe werden wie folgt ermittelt: Der Wattverbrauch der Lampe wird auf der linken Skala aufgesucht und der Strompreis für 1 Kilowattstunde auf der rechten Skala. Durch Verbindung dieser beiden Punkte erhält man auf der mittleren Skala den Strompreis für eine Brennstunde in derselben Münzeinheit wie der Kilowattstundenpreis. Es ergibt sich z. B. für eine Metalldrahtlampe von 50 HK bei einem Strompreis von 0,40 M. ein Verbrauch von 2,2 Pfg. für 1 Brennstunde. Für Lampen über 100 Watt wählt man auf der linken Skala den zehnten Teil des Verbrauches und multipliziert den für die Stromkosten erhaltenen Wert mit 10.

Glühlichtarmaturen.

Die heute für die verschiedenen Anforderungen der Raum- und Außenbeleuchtung zur Verfügung stehenden Beleuchtungskörper lassen sich im wesentlichen in sechs Gruppen teilen, die sich durch die Richtung unterscheiden, in der die maximale Lichtstärke ausgestrahlt wird. In nachstehender Tabelle sind diese sechs Gruppen durch schematische Lichtverteilungskurven gekennzeichnet und ihre Haupteigenschaften und Verwendungsgebiete angegeben. Die Tief- und Breitstrahler ergeben eine direkte bzw. vorwiegend direkte Beleuchtung, die hochstrahlenden Armaturen halbindirekte und ganzindirekte Beleuchtung.

Kennzeichen der gebräuchlichsten Glühlichtarmaturen.

Bezeichnung der Lichtausstrahlung		Stark tiefstrahlend	Leicht tiefstrahlend	Leicht breitstrahlend	Stark breitstrahlend	Leicht hochstrahlend	Stark hochstrahlend
Maximum der Lichtstärke		0°—10°	0°—40°	Über 40°—60°	Über 60°—90°	Über 90°—150°	Über 130°—180°
Art der Lichtverteilung							
Eigenschaften		Gute Ausnützung des Lichts, auch bei sehr großer Aufhängehöhe	Gute Ausnützung des Lichts bei gleichmäßiger Beleuchtung	Gleichmäßige Verteilung des Lichts in allen Raumteilen	Große Gleichmäßigkeit der Beleuchtung	Wegfall der Blendung. Milde Schatten	Vollständig blendungs- und schattenfreie Beleuchtung
Verwendet bei	Raumbeleuchtung	Fabriken u. Montagehallen mit hoch angebrachten Lampen. Hohe Schaufenster	Büros, Verkaufsräume, Fabriken, große Schaufenster	Allgemeinbeleuchtung in Räumen mit hellen Wänden	Räume mit nur wenigen Lampen in geringer Aufhängehöhe	Büros, Verkaufsräume, Empfangs-Konferenzsäle und Fabriken	Zeichensäle, Ausstellungsräume
	Außenbeleuchtung	Große Plätze mit Lampen an hohen Masten. Schiffshellinge	Straßen und Plätze bei mittlerer Aufhängehöhe u. nicht zu großem Lampenabstand	Straßen mit großem Lampenabstand, i. denen auch die Hauswände beleuchtet werden sollen	Straßen mit sehr großem Lampenabstand und geringer Aufhängehöhe (Lagerplätz.)	—	—

TWL 3343

Im Gegensatz zu den sonst gebräuchlichen Emaillearmaturen besteht die reflektierende Oberfläche der Wiskottspiegel aus auf Hochglanz polierten Metallfolien, die auf eine hitzebeständige und schwer zerbrechliche Zementmasse aufgetragen sind. Die reflektierende Oberfläche ist mit einer Putzpaste putzbar, so daß die Spiegel eine sehr lange Lebensdauer besitzen. Die Reflexionsverluste betragen je nach der Einstellung im Durchschnitt nur etwa 17—23%. Das Herstellungsverfahren sichert eine unveränderliche mathematisch genaue Querschnittsform, da die Zementmasse als Träger der Metallfolien sich unter Einwirkung von Temperaturänderungen, die sich beim Brennen ergeben, nicht verändert.

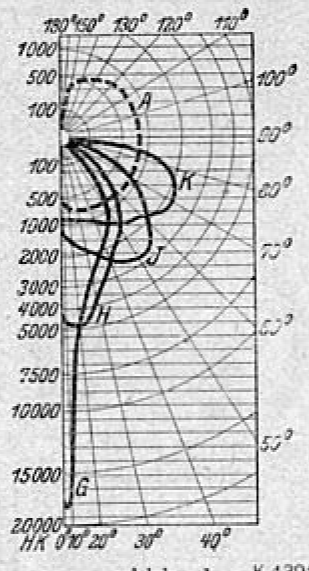


Abb. 1. K 1391
Lichtverteilungskurve einer 500-Watt-Nitralampe mit Wiskott-Reflektor E 40.
Kurve **A**: ohne Reflektor.
Kurve G: größte Konzentration.
Kurve H: mittlere Konzentration.
Kurve J: mittlere Strahlung.
Kurve K: größte Strahlung.

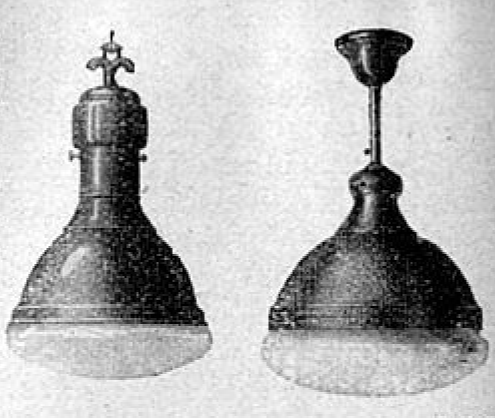


Abb. 2. Wiskott-Spiegel E K 1392
in Außenarmatur. in Innenarmatur.



Abb. 3 Wiskott-Spiegel L K 1393
für Schaufensterbeleuchtung
schwenkbar. fest.

Betrachtet man von der oben gegebenen generellen Einteilung ausgehend die Wiskott-Spiegelreflektoren, so hat man zunächst 3 Ausführungsformen für direkte Beleuchtung zu unterscheiden, und zwar die Typen E, L und P. Die erste kommt vorwiegend für Allgemeinbeleuchtung von Innenräumen und für Außenbeleuchtung in Frage. Das Strahlungsbündel ist durch entsprechende Einstellung der Lampe in sehr weiten Grenzen veränderlich (Abb. 1). Dadurch wird der Wiskott-Spiegel zu einem Universal-Beleuchtungsgerät, das je nach Bedarf als Tief- oder Breitstrahler verwendet werden kann, so daß ein und derselbe Spiegel (Abb. 2) je nach der Lampeneinstellung, die in der Tabelle als tief- und breitstrahlend bezeichneten Fälle der Lichtausstrahlung umfaßt. Die Type L ist für Schaufensterbeleuchtung durchgebildet (Abb. 3), während die Spiegeltype P ausschließlich für Scheinwerfer Verwendung findet. Für ganzindirekte bzw. halbindirekte Beleuchtung dienen die Spiegel J und D (Abb. 4).

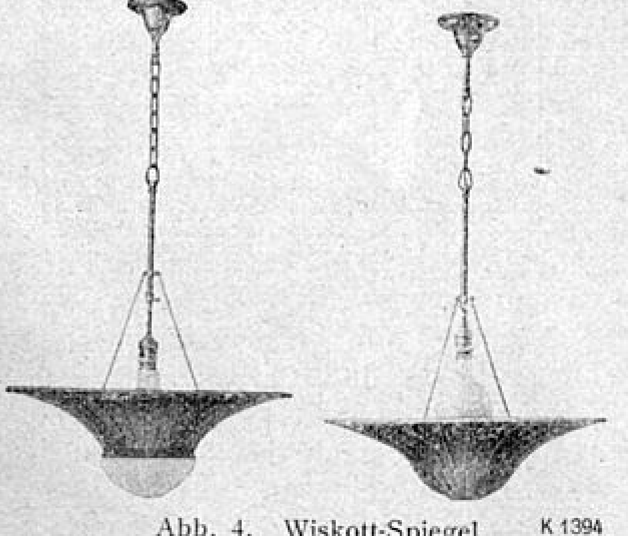
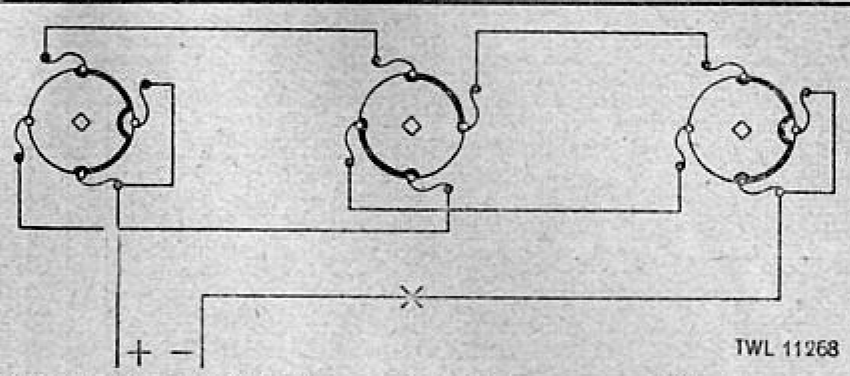


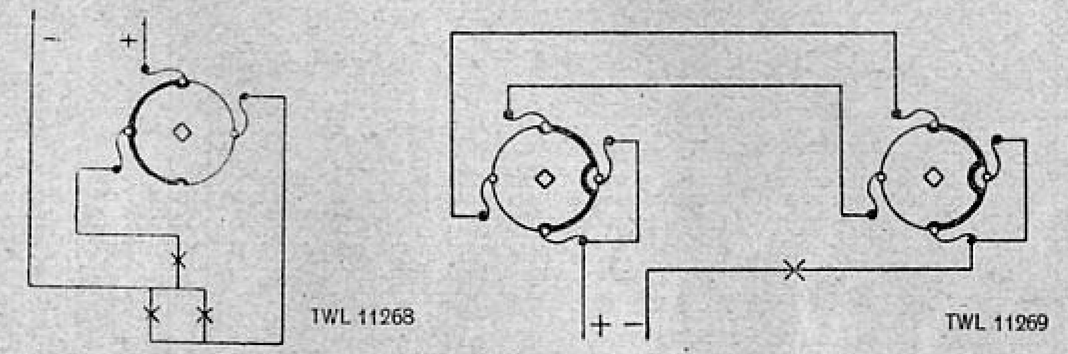
Abb. 4. Wiskott-Spiegel K 1394
D für halbindirekte Beleuchtung. J für ganzindirekte Beleuchtung.

Die Spiegel für direkte Beleuchtung werden in Armaturen eingebaut, die je nach dem Verwendungszweck ausgestaltet sind. Die Abschlußglocke kann aus Klarglas oder Mattglas geliefert werden. Durch den hohen Wirkungsgrad, durch die Höhe und Güte der erzielten Beleuchtung, durch die Putzbarkeit und lange Lebensdauer sind Wiskott-Spiegel überall dort am Platze, wo entweder durch Erhöhung bei denselben Stromkosten, oder aber unter Beibehaltung derselben Beleuchtungsstärke durch Herabsetzung der Stromkosten eine Erhöhung der Wirtschaftlichkeit der Beleuchtungsanlage erzielt werden soll.

Lampenschaltungen.

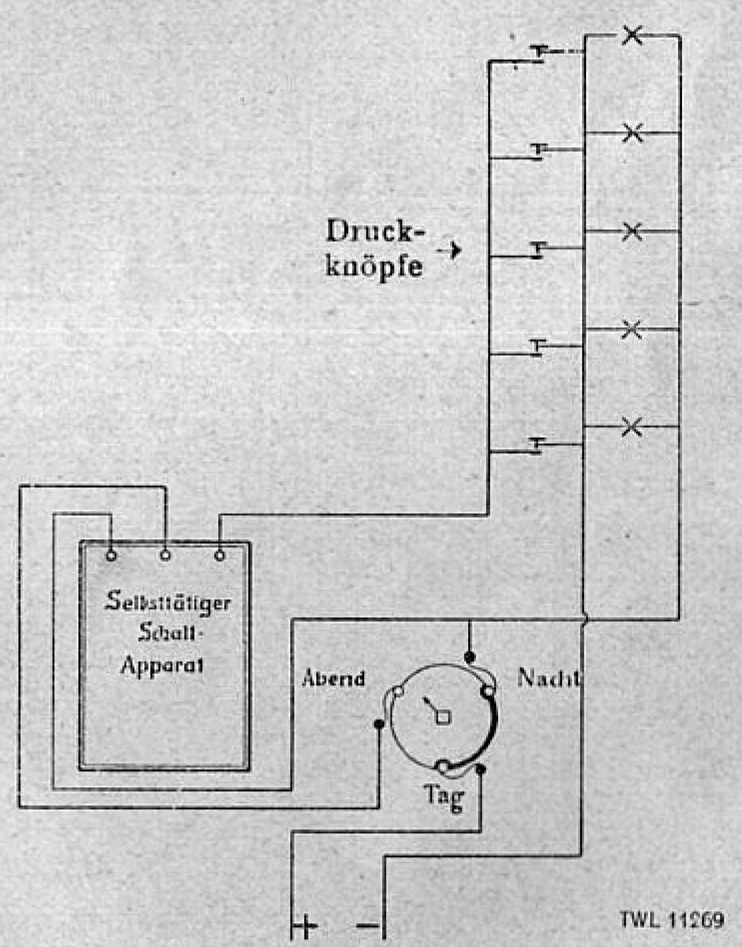


Schaltplan zur Schaltung einer Lampe von 3 Stellen aus durch Wechselschalter, Kreuzschalter, Wechselschalter

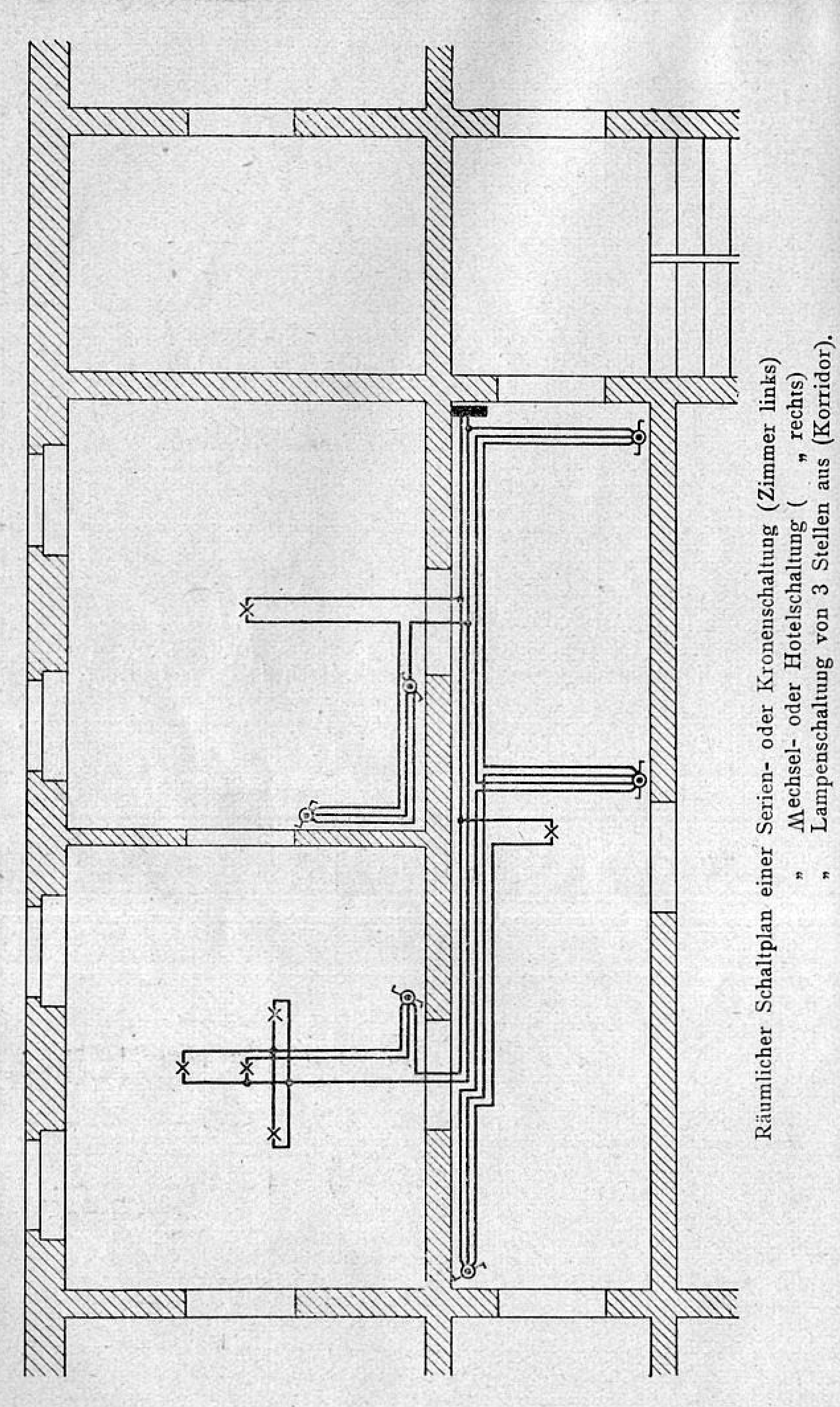


Schaltplan für 2 Lampengruppen mit Serienschalter

Schaltplan zur Schaltung einer Lampe von 2 Stellen aus durch 2 Wechselschalter



Schaltung einer selbsttätigen Treppenbeleuchtung mit Druckknopfbetätigung.



Räumlicher Schaltplan einer Serien- oder Kronenschaltung (Zimmer links)
" Mechsel- oder Hotelschaltung (" rechts)
" Lampenschaltung von 3 Stellen aus (Korridor).

II. Elektrische Erwärmung.

Die elektrische Arbeit, die einen Leiter durchströmt, setzt sich in diesem in Wärme um. Je größer die Stärke des fließenden Stromes und je größer der Widerstand des Leiters ist, den er durchströmt, um so größer ist die erzeugte Wärmemenge. Bei dieser Umsetzung der elektrischen Arbeit in Wärme erzeugt eine Kilowattstunde 859 Wärmeeinheiten. Die Ausnutzung der auf elektrischem Wege erzeugten Wärme ist im allgemeinen recht hoch; der erzielte Wirkungsgrad beläuft sich auf etwa 80—90 %, kann aber auch in manchen Apparaten bis zu 98 % erreichen.

In der Praxis erzeugt daher

1 Kilowattstunde 700—800 Wärmeeinheiten.

10 kW können in $^1/_4$ Stunde 20 Liter Wasser zum Sieden bringen,
2 „ „ „ 6 Stunden 100 „ „ auf 90 Grad erhitzen.

Die elektrisch erzeugte Wärme kann also entweder unter Aufwendung größerer Leistungen auf kurze Zeit zur sofortigen Verwendung schnell bereitgestellt werden (Schnellerhitzer), oder unter Aufwendung geringer Leistungen in längerer Zeit für spätere Verwendung zur Aufspeicherung kommen (Speichererhitzung). Der Verwendungszweck bestimmt, ob Schnellerhitzung z. B. beim Plätteisen, Nieterwärmer usw. in Anwendung kommt oder die Speichererhitzung wie bei der Wasservorwärmung usw.

Der Aufbau der Heizkörper selbst richtet sich vor allem danach, ob es sich um die Erwärmung elektrisch leitender Körper (metallische Gefäße, Flüssigkeiten) oder eines Stoffes handelt, welcher selbst als elektrischer Isolator anzusprechen ist (Luft). Im ersten Falle ist es erforderlich, die stromdurchflossenen Teile allseitig sorgfältig zu isolieren. Dies kann dadurch erfolgen, daß die Heizleiter in ein keramisches Material eingepreßt werden. Hierdurch erreicht man gleichzeitig vollkommenen Luftabschluß, so daß

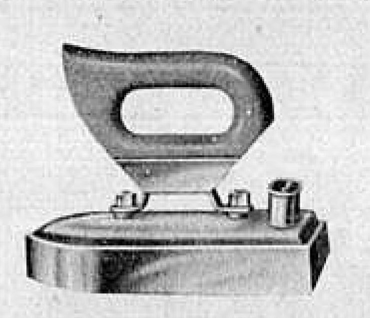


Abb. 5. K 1396
Plätteisen

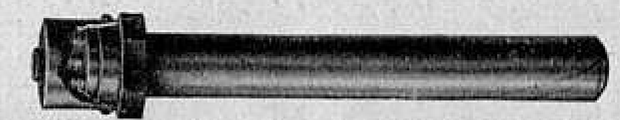


Abb. 6. Patronenheizkörper. K 1397



Abb. 7. K 1398
Schnellwasserwärmer.

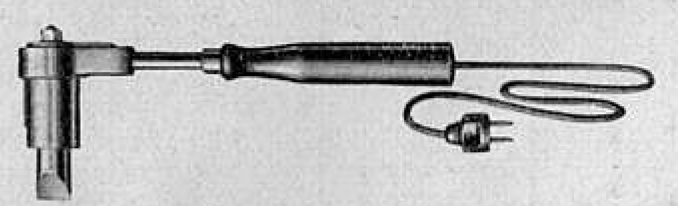


Abb. 8. Elektrisch beheizter Lötkolben. K 1399

durch Vermeidung von Zundern und dergleichen eine außerordentlich lange Lebensdauer erzielt wird. Beispiele hierfür sind das elektrische Plätteisen (Abb. 5), ferner der Patronenheizkörper (Abb. 6), welcher für die Erwärmung von Flüssigkeiten sowie von kompakten metallischen Körpern

Anwendung findet. Nach demselben Verfahren hergestellte Heizkörper finden auch in den Kochplatten und den Schnellwasserwärmern (Abb. 7) Verwendung. In gleicher Weise ist der elektrische Lötkolben (Abb. 8) aufgebaut, wobei das Arbeitsstück fest in den zylindrischen Heizkörper eingepreßt ist, so daß eine günstige Wärmeübertragung erzielt wird. Ein besonders wichtiges Anwendungsgebiet der elektrischen Patronenheizkörper ist die Beheizung von Heißwasserspeichern, welche mit verhältnismäßig geringer Leistungsaufnahme während längerer Zeit die für den Augenblick des Verbrauchs erforderliche Wassermenge bereitstellen (Abb. 9). Sie können entweder bei Nachtheizung (Nachtspeicher) als Verbraucher überschüssigen und dadurch billigen Nachtstromes, oder bei Tag- und Nachtheizung (Dauerspeicher) für stetigen Verbrauch verwendet werden. Bei Tag- und Nachtheizung sind die Speicher dauernd unter Strom und können, da die Ladezeit 8 Stunden beträgt, etwa das Dreifache ihres Inhalts von 85° C abgeben. Durch eine entsprechend hochwertige Wärmeisolation werden die Temperaturverluste auf ein außerordentlich geringes Maß herabgedrückt.

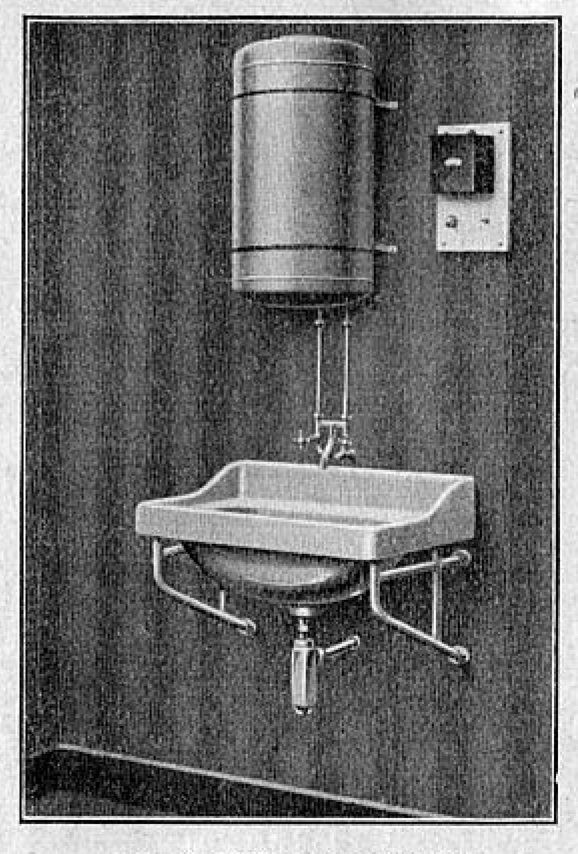


Abb. 9. Heißwasserspeicher.

Leistungstabelle für Heißwasserspeicher.

Inhalt	Nennaufnahme	Nachtspeicher		Dauerspeicher	
		Energieaufwand	Tägliche Wassermenge von 85° C	Energieaufwand	Tägliche Wassermenge von 85° C
Liter	Watt	ca. kW-Std.	ca. Ltr.	ca. kW-Std.	ca. Ltr.
15	225	1,5	15	5	50
30	450	2,8	30	10	110
50	600	4,6	50	14	145
80	900	7,5	80	21	220
100	1200	9,0	100	28	300
120	1320	11,0	120	31	330
200	2400	18,0	200	56	620
400	4800	36,0	400	114	1250
1000	10800	90,0	1000	260	2900
2000	21600	175,0	2000	510	5800

Um einen vollständig selbsttätigen Betrieb dieser Apparate zu erreichen, bedient man sich zur automatischen Aus- und Einschaltung sogenannter Thermoregulatoren, welche bei Erreichen einer bestimmten Höchsttemperatur den Heizstrom abschalten und nach Zurückgehen um etwa 20° wieder einschalten.

Eine andere Art elektrischer Heizkörper für Flüssigkeitserwärmung stellt der sogenannte Flachrohrheizkörper dar, welcher auf relativ kleinem Raum sehr große Energiemengen umzusetzen gestattet (Abb. 10). Als Isoliermaterial ist hierbei Mikanit gewählt, das bei geringer Stärke und deshalb geringen Wärmeübergangswiderständen hohes elektrisches Isolationsvermögen besitzt. Den Einbau derartiger Heizkörper in einen Durchlauferhitzer, die für verschiedene Leistungen in kW angefertigt werden, zeigt Abb. 11. Nachstehende Tabelle gibt einen Ueberblick über die bei verschiedenen Temperaturerhöhungen von den einzelnen Erhitzern abgegebenen Wassermengen.

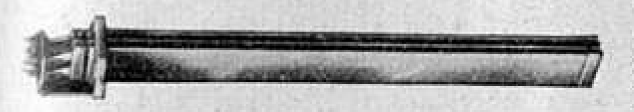


Abb. 10. Flachrohrheizkörper. K 1401

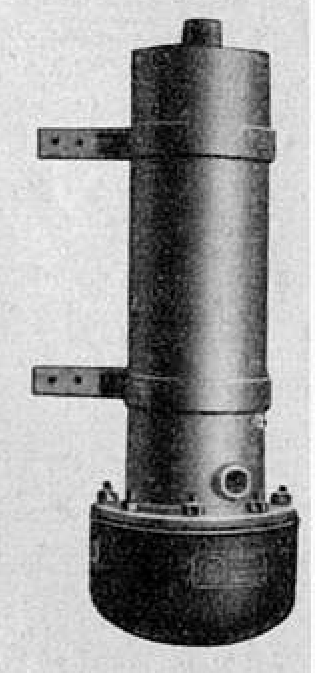


Abb. 11. K 1402
Durchlauferhitzer.

Warmwasserleistung von Durchlauferhitzern im Dauerbetrieb.

Leistung kW	Durchflußmenge in Ltr./min. bei einer Temperaturerhöhung um °C												
	10	20	30	35	40	45	50	55	60	65	70	80	90
7	9,7	4,5	2,8	2,4	2,1	1,8	1,64	1,46	1,32	1,22	1,12	0,96	0,85
10	14,0	6,6	4,3	3,5	3,1	2,75	2,5	2,25	2,0	1,85	1,7	1,48	1,3
14	20,0	9,5	6,0	5,2	4,5	4,0	3,6	3,25	3,0	2,75	2,5	2,2	1,93
20	28,5	13,6	9,0	7,6	6,6	6,0	5,4	4,8	4,4	4,1	3,7	3,25	2,9
40	57,0	27,0	17,6	14,8	13,0	11,6	10,4	9,5	8,5	7,8	7,2	6,3	5,6
50	70,0	34,0	23,0	19,0	16,8	15,0	13,2	12,0	11,0	10,0	9,3	8,2	7,2

Bei kurzen Betriebsperioden und hohen Auslauftemperaturen verringern sich obige Werte infolge der beim Anheizen vom Gerät aufgenommenen Wärmemenge.

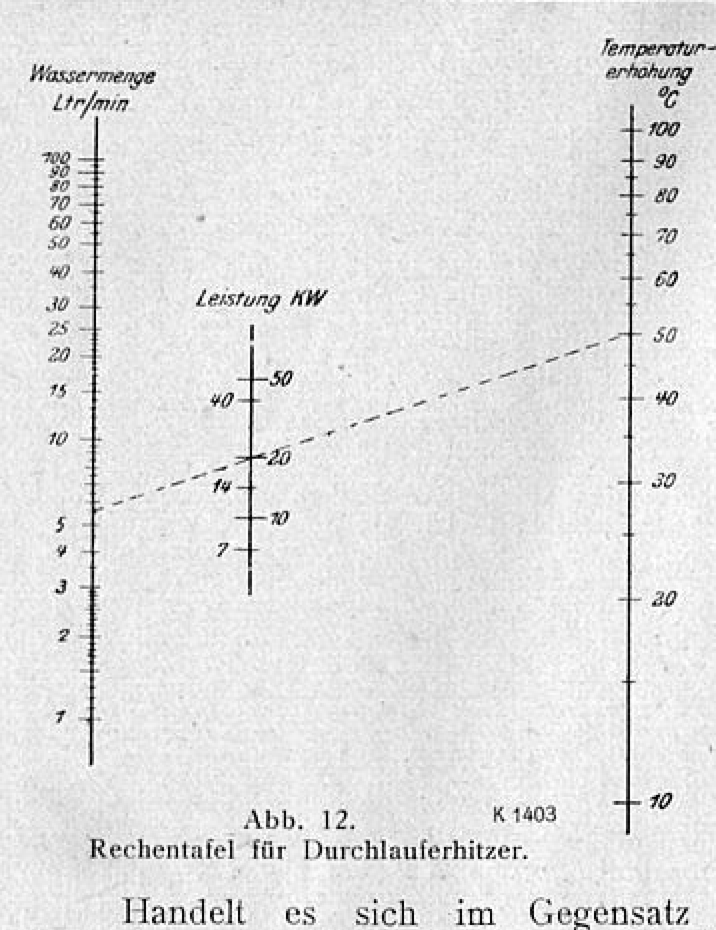


Abb. 12. K 1403
Rechentafel für Durchlauferhitzer.

Die in Abb. 12 dargestellte Rechentafel für Durchlauferhitzer gestattet für die verschiedenen Leistungen in kW und die gewünschten Temperaturerhöhungen die entsprechenden Wassermengen in Ltr./Min. unmittelbar abzulesen. Wie das eingetragene Beispiel zeigt, beträgt bei einem Durchlauferhitzer für 20 kW die Temperaturerhöhung für 5,6 Ltr./Min. 50° C.

Um ein Trockengehen der Heizkörper zu vermeiden, das durch starke Temperatursteigerung zu ihrer Zerstörung führen würde, ist ein Zwangsschalter vorgesehen, der bei Einschalten des Stromes zwangläufig das Wasserzuleitungsventil öffnet.

Handelt es sich im Gegensatz zu den bisher geschilderten Apparaten um solche, welche zur Erwärmung von Luft dienen sollen, so können die Heizdrähte frei auf isolierenden Unterlagen ausgespannt werden. In dieser Weise ist der Kreuzheizkörper (Abb. 13) ausgebildet. Je nach der in Frage kommenden Temperatur dienen Reiter aus Porzellan oder Steatit, welche auf ein Gestell aus Flacheisen aufgestellt sind, als Stützpunkte für den Widerstandsdraht. Aus solchen Heizkörpern sind die für Raumerwärmung bestimmten Zimmeröfen zusammengestellt (Abb. 14).

Abb. 13. K 1404
Kreuzheizkörper für Lufterwärmung.

Eine besonders intensive Heizwirkung auf kleiner Fläche läßt sich erreichen, wenn ein ähnlicher Heizkörper kleiner Abmessungen im Brennpunkte eines Parabolspiegels untergebracht und auf Rotglut erhitzt wird (Abb. 15). Die austretenden Wärmestrahlen werden dann mit geringer Streuung in bestimmter Richtung gesammelt und lassen so mit verhältnismäßig kleiner Leistung kräftige Effekte erzielen. Für Warmluftheizung größerer Arbeitsräume sowie umfangreicher Trockenanlagen finden die Kreuzheizkörper zu Batterien zusammengebaut als Lufterhitzer Verwendung, durch welche ein Ventilator einen kräftigen Luftstrom in den zu beheizenden Raum treibt.

Abb. 14. Zimmerofen. K 1405

Abb. 15. K 1406
Parabolheizkörper.



MOTOREN

I. Allgemeines.

Leistung.

Die Leistungen der Motoren gelten im allgemeinen für Dauerbetrieb. Für kurzzeitigen Betrieb (Betriebszeit z. B. 30 oder 60 Min.) sowie für aussetzenden Betrieb (mit nach Minuten zählenden Einschaltzeiten und damit abwechselnden Pausen bei höchstens 10 Minuten Spieldauer, z. B. Motoren für Krane u. dergl.) werden Maschinen nach Sonderlisten verwendet, wobei die Erhöhung der Leistung infolge der Abkühlung in den Pausen berücksichtigt ist (vergl. REM.).

Drehmoment.

Die Leistung des Motors äußert sich am Umfang der Riemenscheibe oder bei Kupplungen an der Kupplungsstelle als Zugkraft und Geschwindigkeit. Die Größe der Zugkraft ist je nach Leistung, Drehzahl und Durchmesser der Riemenscheibe bzw. der Kupplung verschieden, aber das Produkt aus Zugkraft und Halbmesser hat für jede Maschine einen bestimmten Wert; es wird Drehmoment genannt und ist in Abb. 1 bildlich dargestellt. P wird in Kilogramm gemessen, R in Meter. Dann ist: das Drehmoment $M = P \times R$ Meterkilogramm.

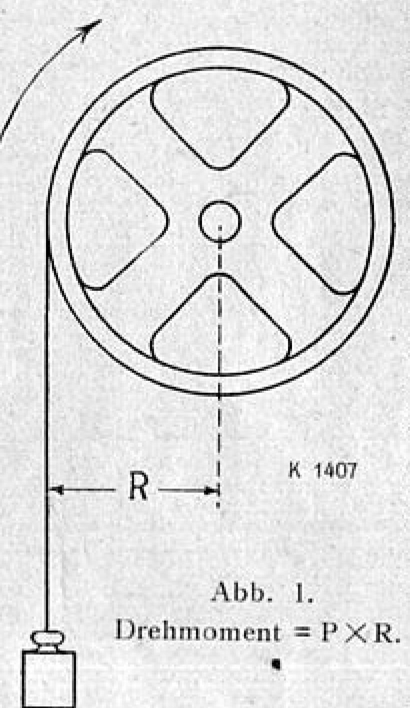


Abb. 1.
Drehmoment = P × R.

Man unterscheidet das Nenndrehmoment, das der Motor ausübt, wenn er normal belastet ist, das maximale Drehmoment (Kippmoment), das der Motor bei Ueberlastung im Lauf höchstens auszuüben vermag, und das Anlauf-Drehmoment, das der Motor beim Anlauf auszuüben in der Lage ist. Das Nenndrehmoment errechnet sich nach der Formel:

$$M = 716 \times \frac{N}{n}.$$

Darin bedeutet N die Normale Leistung des Motors in PS, n die Drehzahl des Motors bei dieser Leistung.

Nenndrehmomente der Motoren.

Bei einer Drehzahl pro Minute von	Bei einer normalen Leistung von									
	1 PS mkg	2 PS mkg	3 PS mkg	4 PS mkg	5 PS mkg	6 PS mkg	7 PS mkg	8 PS mkg	9 PS mkg	10 PS mkg
700	1,00	2,0	3,0	4,1	5,1	6,1	7,1	8,2	9,2	10,2
800	0,90	1,8	2,7	3,6	4,5	5,4	6,3	7,2	8,1	9,0
900	0,80	1,6	2,4	3,2	4,0	4,8	5,6	6,4	7,2	8,0
1000	0,70	1,4	2,2	2,9	3,6	4,3	5,0	5,8	6,5	7,2
1200	0,60	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8	5,4	6,0
1400	0,50	1,0	1,5	2,0	2,6	3,1	3,6	4,1	4,6	5,1
1600	0,45	0,9	1,4	1,8	2,3	2,7	3,1	3,6	4,1	4,5
1800	0,40	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
2000	0,35	0,7	1,1	1,4	1,8	2,2	2,5	2,9	3,1	3,6
2500	0,30	0,6	0,9	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6	2,9

Die Kippdrehmomente von Motoren müssen bei Nennspannung, bei Dreh- und Wechselstrommotoren auch bei Nennfrequenz, nach den REM. mindestens folgende Werte haben:

1. Motoren für Dauer- und kurzzeitigen Betrieb: Kippdrehmoment gleich oder größer als 1,6 × Nenndrehmoment,

2. Motoren für aussetzenden Betrieb: Kippdrehmoment gleich oder größer als 2 × Nenndrehmoment.

Das erforderliche Anlaufmoment des Motors, also das Drehmoment, das der Motor ausüben muß, um die von ihm betriebene Einrichtung in Bewegung zu setzen, ist teils geringer als das normale (Anlauf ohne Belastung, z. B. mit Fest- und Losscheibe), teils gleich dem normalen (Anlauf mit geringer Last, z. B. Antrieb einer Transmission), teils größer als das normale (Anlauf mit voller Last, z. B. Einzelantrieb von Werkzeugmaschinen). Bei Aufzügen und Kranen (aussetzender Betrieb) sowie bei Brücken- und Schleusentorantrieben (kurzzeitiger Betrieb) muß das Anlaufmoment mindestens das Zweifache des Nenndrehmomentes sein.

Anlaufstrom.

Die Stromaufnahme eines Motors, der mittels Anlassers angelassen wird, hängt von der Belastung beim Anlauf sowie der Anlaßzeit ab.

Um den praktisch vorkommenden Anlaßbedingungen zu genügen, sind die Anlasser vom VDE. genormt worden. Für Leistungen bis 100 kW werden die Anlasser für Halblast- und Vollastanlauf gebaut, erstere für leeranlaufende Antriebe, sofern sie nicht mit großen Schwungmassen, Transmissionen usw., verbunden sind. Für alle anderen Betriebe, die unter Belastung anlaufen, sind Vollastanlasser zu wählen. Der mittlere Anlaßstrom ist hierbei ungefähr das 1,3 fache des Motornennstromes. Die Anlaufzeit soll hierbei bei Motoren bis etwa 10 kW 6 bis 10 Sek., bis 35 kW 16 Sek., bis 70 kW 21 Sek. betragen.

Kleine Gleichstrommotoren und Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer, die ohne Verwendung eines Anlassers mittels Schalters unmittelbar eingeschaltet werden, haben beim Einschalten eine größere Stromaufnahme, die das 5- bis 7 fache des Normalstromes ausmachen kann. Die Stromaufnahme läßt sich bei Drehstrommotoren durch Anwendung eines Sterndreieckschalters auf etwa das 2- bis $2^1/_2$ fache des Normalstromes herabmindern. Die Dauer des Stromstoßes hängt von der Belastung ab, unter der der Motor anzulaufen hat. Aus diesem Grunde läßt man Kurzschlußläufermotoren meist ohne oder unter geringer Belastung anlaufen. Bei Anwendung der Sterndreieckschaltung muß der Motor unter geringer Last eingeschaltet werden, weil er bei dieser Schaltung im Anlauf nur $^1/_2$ bis $^3/_4$ des normalen Drehmoments entwickeln kann.

Vollaststrom.

Annähernder **Stromverbrauch von Motoren** bei Vollast **in Amp. für eine Pferdestärke.**

Gleichstrom				
Motorleistung	110 Volt	220 Volt	440 Volt	500 Volt
1 PS	9,0	4,5	2,2	1,86
2 PS	8,6	4,3	2,1	1,83
3—5 PS	8,2	4,05	2,0	1,78
6—25 PS	7,8	3,9	1,94	1,73
26—50 PS	7,6	3,8	1,9	1,66
51—75 PS	7,54	3,74	1,87	1,63
76—100 PS	7,5	3.72	1.86	1.62
im Mittel	8	4	2	1,8

Drehstrom					
Motorleistung	125 Volt	190 Volt	220 Volt	380 Volt	500 Volt
1 PS	5,3	3,5	3,0	1,7	1,35
2 PS	5,0	3,3	2,85	1.66	1,25
3—5 PS	4,7	3,1	2,68	1,5	1,15
6—25 PS	4,36	2,9	2,6	1,45	1,10
26—50 PS	4,22	2,76	2,4	1,4	1,05
51—75 PS	4,15	2,73	2,36	1,36	1,03
76—100 PS	4.08	2,69	2,32	1,34	1,02
im Mittel	4,7	3	2.6	1,4	1,1

Bei 3000 Volt Drehstrom etwa 0,2 Amp. p. PS. Bei 6000 Volt Drehstrom etwa 0,1 Amp. p. PS.

Drehzahl.

Gleichstrommotoren kann man mit beliebiger Drehzahl ausführen. Ueblich sind solche von etwa 1500 bis 600 in der Minute bis 30 PS, 1300 bis 500 in der Minute bis 80 PS, 1000 bis 400 in der Minute bis 120 PS Motorleistung.

Der Nebenschlußmotor fällt bei Belastung nur wenig in der Drehzahl ab. Sie kann durch Widerstände vor dem Anker allerdings unwirtschaftlich heruntergesetzt und durch Regelwiderstände im Feld gesteigert werden.

Die Drehzahl eines Hauptstrommotors nimmt mit abnehmender Belastung schnell zu. Bei vollständiger Entlastung würde er durchgehen.

Die Drehzahl von normalen Drehstrommotoren (Asynchronmotoren) ist durch die Periodenzahl (Frequenz) und die Polzahl, für welche der Motor gewickelt ist, fest bestimmt. Sie haben bei der üblichen Periodenzahl von 50 in der Sekunde unabhängig von der Größe und der Spannung eine Drehzahl bei Leerlauf von 3000, 1500, 1000, 750, 600, 500 usw. in der Minute. Bei voller Belastung ist die Drehzahl geringer. Sie beträgt etwa 2850, 1420, 960, 720, 560, 470 usw. in der Minute. Eine Steigerung ist nicht möglich, eine Verminderung bedingt die Wahl von Regulierschleifringläufern und Läuferwiderständen. Sie ist durch die starke Herabsetzung der Leistung unökonomisch und daher möglichst zu vermeiden.

Bei Antrieb von Ventilatoren, Zentrifugalpumpen und dergl. durch einen direkt gekuppelten Drehstrommotor müssen deshalb obige Drehzahlen zugrunde gelegt werden. Zur rationellen Verminderung der Drehzahl in weiteren Grenzen werden Drehstrom-Kollektormotoren gebaut.

Ueberlastung.

Maßgebend für die Leistungsfähigkeit des Motors ist außer Drehmoment nnd Drehzahl die Temperatur, die er während des Betriebes annimmt.

Normale Motoren sind für Dauerbetrieb bemessen, d. h. sie vermögen die Leistung, für die sie bestimmt sind, ununterbrochen im Tag- und Nachtbetrieb abzugeben, ohne daß die Temperatur im Innern der Maschine das zulässige Maß überschreitet.

Im kurzzeitigen oder aussetzenden Betrieb vermögen die Motoren in Sonderausführung eine größere Leistung abzugeben als im Dauerbetrieb, bei aussetzendem Betrieb jedoch nur dann, wenn das festgesetzte Verhältnis von Einschaltdauer (z. B. 15, 25 oder 40% ED) zur Pause eingehalten wird. Nur dann wird die Temperatur im Innern der Maschine das zulässige Maß nicht überschreiten. Für Dauerbetrieb (ohne Belastungspausen) sind diese Motoren auch bei geringer Belastung im allgemeinen nicht geeignet.

Während des normalen Betriebes können die Motoren nach den REM. auch Ueberlastungen erfahren, und zwar müssen Maschinen für Dauerbetrieb im betriebswarmen Zustande während zwei Minuten den 1,5 fachen Nennstrom bei der Nennspannung ohne Beschädigung oder bleibende Formveränderung aushalten.

Die Temperaturzunahme von Maschinen wird nach den REM. bei normaler Belastung gemessen, und zwar bei Dauerbetrieb, wenn die Temperatur einen annähernd gleichbleibenden Höchstwert erreicht hat, jedoch spätestens nach zehnstündigem Betrieb, und bei kurzzeitigem Betrieb nach Ablauf der auf dem Leistungsschild angegebenen Betriebszeit bzw. Betriebszeitabschnitt, wenn die Maschine vom kalten Zustande aus (Temperatur der Umgebung) belastet wurde.

Verschiedene Teile der Maschine nehmen die höchstzulässige Temperatur auch dann an, wenn der Motor unbelastet oder mit geringer Last läuft. Wenn also bei Maschinen auch bei geringerer Belastung Temperaturen gemessen werden, die den höchstzulässigen Temperaturen nahekommen, so darf daraus nicht auf ungenügende Abmessung oder auf einen Fehler innerhalb der Maschine geschlossen werden.

Die Temperaturen der mit Gleichstrom erregten Feldspulen und aller ruhenden Wicklungen werden aus der Widerstandszunahme bestimmt. Sie können aber auch ebenso wie die Temperaturen aller anderen Maschinenteile mittels Thermometer gemessen werden.

Das Thermometer ist an denjenigen Stellen der Maschine anzulegen, an denen die höchsten Temperaturen wahrscheinlich auftreten. Die Kugel des Thermometers wird zum Zwecke einer genauen Messung mit einer Stanniolumhüllung versehen, die sich möglichst dicht dem Maschinenteil anschmiegen soll, dessen Temperatur festzustellen ist. Thermometer und Maschinenteile werden dann zur Vermeidung des Wärmeverlustes gemeinsam mit einem schlechten Wärmeleiter (trockene Putzwolle, Watte und dergl.) überdeckt. Das Thermometer wird außerdem so befestigt, daß es sich während des Betriebes nicht aus seiner

Lage verschieben kann. Bei diesen Messungen dürfen sich folgende Höchstwerte ergeben:

Höchstzulässige Grenzwerte von Temperatur und Erwärmung elektrischer Maschinen.

(Nach den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen. [REM.] vom 1. Januar 1923.)

Reihe Nr.	Isolierung		Maschinenteil	Grenztemperatur	Grenzerwärmung*)	Meßverfahren
1	Faserstoff, d. i. ungebleichte Baumwolle, natürliche Seide, Papier	ungetränkt	In Nuten gebettete Wechselstrom-Ständerwicklungen	75° C	40° C	Widerstandszunahme, Nachprüfung durch Thermometer
2			Alle anderen Wicklungen ausschl. Reihe 9 und 10	85° C	50° C	
3		mit einem erstarrenden oder trocknenden Isoliermittel getränkt	In Nuten gebettete Wechselstrom-Ständerwicklungen	85° C	50° C	
4			Alle anderen Wicklungen ausschl. Reihe 9 und 10	95° C	60° C	
5		in Füllmasse, Hohlräume durch Isoliermasse gefüllt	Alle Wicklungen mit Ausnahme von Reihe 9 und 10	95° C	60° C	
6	Lackisolierung (Lackdraht, Emaildraht)			95° C	60° C	
7	Glimmer- und Asbestpräparate			115° C	80° C	
8	Rohglimmer, Porzellan und feuerfeste Stoffe			Nur beschränkt durch d. Einfluß auf benachbarte Isolierteile		
9	Isolierung wie Reihe 1 bis 8		Einlagige blanke Feldwicklungen mit Papierzwischenlagen	100° C	65° C	
10			Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen	5° mehr als Reihe 1—7		Thermometer
11	Unisoliert		Dauernd kurzgeschlossene Wicklungen	Nur beschränkt durch d. Einfluß auf benachbarte Isolierteile		
12	—		Eisenkern ohne eingebettete Wicklungen			
13	—		Eisenkern mit eingebetteten Wicklungen	Wie Reihe 1—7		
14	—		Kommutator und Schleifringe	95° C	60° C	
15	—		Lager	80° C	45° C	
16	—		Alle anderen Teile	Wie Reihe 8		

*) D. h. Temperaturerhöhung über das kühlende Mittel, z. B. die umgebende Luft

Die Grenzwerte für die Temperatur dürfen nicht überschritten werden. Sie sind unter der Voraussetzung aufgestellt, daß die Temperatur der Umgebung 35 Grad nicht überschreitet. Als Temperatur der Umgebung gilt der Mittelwert der Temperatur der Luft in Höhe der Maschinenmitte und in etwa 1 m Entfernung von der Maschine. Die Thermometer dürfen während der Messung weder Luftströmungen noch Wärmestrahlung ausgesetzt sein.

Isolation.

Werden keine besonderen Vorschriften gemacht, so erhalten sämtliche Motoren normale Isolation (Bezeichnung I 1), bei welcher durch die Art der Imprägnierung und die Auswahl der Isolierstoffe dafür gesorgt ist, daß die Wicklung gegen den Einfluß feuchter oder staubhaltiger Luft, sofern der Staub keine leitenden Bestandteile enthält, hinreichend geschützt ist. Die Isolation reicht selbst für Räume aus, in denen sich die Luftfeuchtigkeit zeitweise niederschlagen kann, wie in Brauereien, Färbereien, Waschanstalten, Schlachthäusern, Brunnenschächten, Zement- und Kalkwerken. Die Isolation eignet sich auch für jene tropischen Gegenden, in denen nicht mit besonders feucht-warmer Luft zu rechnen ist.

Für besonders nasse oder feuchtwarme Räume (Aequatorialgegenden) sind die Motoren mit Spezialisolation (Bezeichnung I 2) zu verwenden. Bei dieser ist durch eine besondere Imprägnierung, mehrmalige Tränkung und teilweise Verstärkung der Isolation dafür gesorgt, daß die Wicklung hinreichend geschützt ist. Diese Isolation bedingt in vielen Fällen eine geringe Herabsetzung der Leistung.

Auf Wunsch wird außerdem die normale wie die Spezialisolation noch durch einen besonderen Lackanstrich verstärkt, um die Wicklung besser gegen den ätzenden Einfluß von Gasen und Dämpfen zu schützen. Dabei ist aber zu bemerken, daß hierdurch ein vollkommener Schutz gegen Säuredämpfe nicht gewährleistet werden kann. Der besondere Lackanstrich wird durch den Zusatzbuchstaben L, also I 1 L, I 2 L, angedeutet.

Soweit dies nicht durch die Wahl der Isolation möglich ist, ist den örtlichen Verhältnissen auch durch die Schutzart, offen, ganz oder teilweise geschlossen, Rechnung zu tragen, ebenso ist der Einfluß leitenden Staubes, explosibler Gase, hoher strahlender Hitze und ähnlicher besonderer Umstände von Fall zu Fall zu berücksichtigen.

Leistungsschilder von Maschinen.

Die Stempelung der Leistungsschilder erfolgt für die einzelnen Benennungen mit den in nachstehender Tabelle angegebenen Zeichen. In Abb. 2 ist ein Schild, auf welchem die Felder entsprechend der Tabelle laufend numeriert sind, dargestellt. Die Schilder werden in je 5 Größen hergestellt und für alle Maschinengattungen und Stromarten verwendet. Eine Abgabe ungestempelter Schilder erfolgt nicht. Für verlorengegangene kann Ersatz nur dann geliefert werden, wenn genaue Angaben der betreffenden Maschine

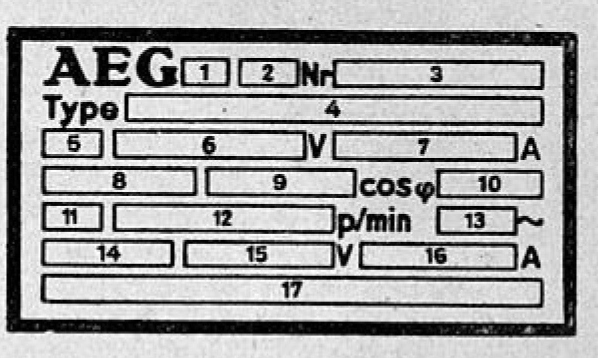


Abb. 2. Leistungsschild für Maschinen. K 1408

gemacht werden können, das ist Fabrikationsnummer, Type, Spannung und Drehzahl. Diese Angaben befinden sich auf der Stirnseite der Wellen und auf der Auflagefläche für die Transportöse am Gehäuse.

Zeichen für die Stempelung der Leistungsschilder.

Feld		Benennung	Zeichen
1	Stromart	Gleichstrom	G
		Einphasenstrom	E
		Zweiphasenstrom	Z
		Drehstrom	D
		Sechsphasenstrom	S
2	Arbeitsweise	Generator	Gen.
		Motor	Mot
		Phasenschieber	Phas.
		Einanker-Umformer	EU
		Kaskaden-Umformer	KU
3		Fabrikationsnummer	
4		Typenbezeichnung der Maschine	
5	Schaltart	Einphasen	I
		Einphasen mit Hilfsphase	⊥
		Zweiphasen verkettet	Γ
		Zweiphasen unverkettet	+
		Dreiphasen-Stern	⅄
		Dreiph.-Stern m. Nullpunkt	⅄ mit Kreis
		Dreiphasen-Dreieck	Δ
		Dreiphasen offen	III
		Durchmesser-Spannung	⦶
		n-phasig	I^n

Feld		Benennung	Zeichen
6		Nennspannung	
7		Nennstrom	
8	Betriebsart	Dauerbetrieb	D
		Kurzzeitiger Betrieb	KB
		Aussetzender Betrieb	AB
9		Nennleistung bei allen Motoren	kW
		Nennleistung bei allen Generatoren	kVA
10	Leist.-Faktor	Untererregt	—
		Uebererregt	Ü
11		Rechtslauf v. Antriebseite	↷
		Linkslauf v. Antriebseite	↶
12		Drehzahl	U
13		Nennfrequenz	
14		Erregung	Erreg.
		Läufer	Läuf.
15		Nennerregerspannung	
		Läuferstillstandsspannung	
16		Erregerstrom	
17		Zusätzliche Vermerke	
18		Preislistennummer	

In Abb. 2a ist das fertig gestempelte Leistungsschild eines Gleichstrommotors und in 2b eines Drehstrommotors dargestellt.

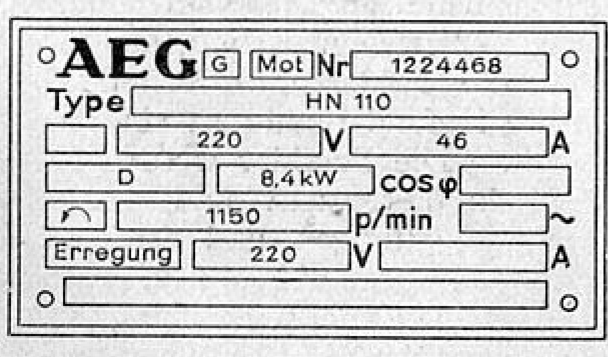


Abb. 2a. K 1072
Leistungsschild eines Gleichstrommotors.

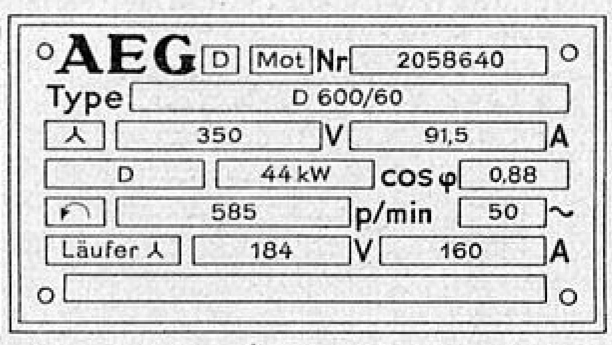


Abb. 2b. K 1077
Leistungsschild eines Drehstrommotors mit Schleifringläufer.

II. Gleichstrommotoren.

Bauart.

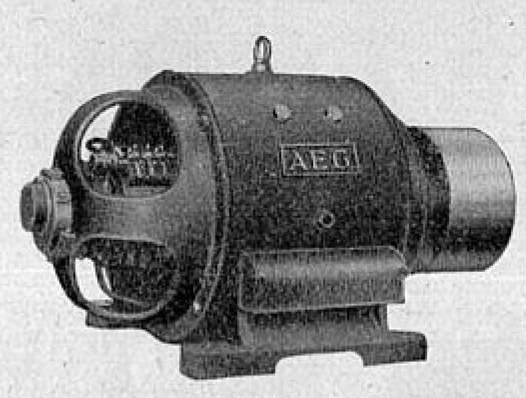
Gleichstrommotoren werden normal als Nebenschlußmotoren geliefert. Die Bauart der Motoren entspricht den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektr. Maschinen (REM.). Alle Motoren sind mit Kohlebürsten ausgerüstet und besitzen mit Ausnahme der Type HN_4 Hilfspole.

Schutzarten.

Man unterscheidet:

1. offene Motoren, deren Lagerschilde große Oeffnungen besitzen;
2. ventiliert geschützte Motoren, deren Lagerschilde jalousieartige Schlitze haben, so daß das Innere der Motoren zwar von der Luft durchstrichen wird, aber Schutz gegen grobe Fremdkörper und gegen Tropfwasser gebildet wird;
3. geschlossene Ausführung, welche Schutz gegen Spritzwasser, Staub usw. gewährt, wobei beide Lagerschilde ohne Oeffnungen sind;
4. ventiliert geschlossene Motoren, deren Lagerschilde je einen Stutzen zum Anschluß von Rohren besitzen, welche reine Kühlluft zu- und abführen.

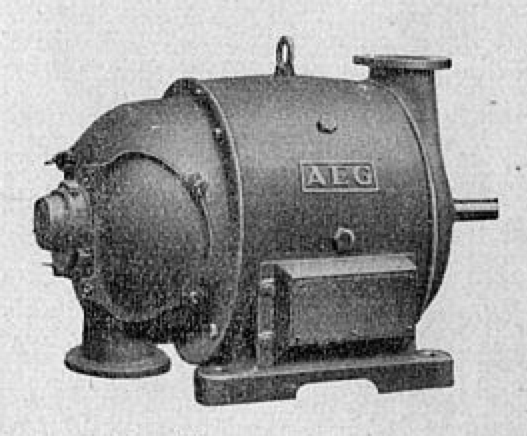
In Abb. 3 sind diese Ausführungsformen veranschaulicht.



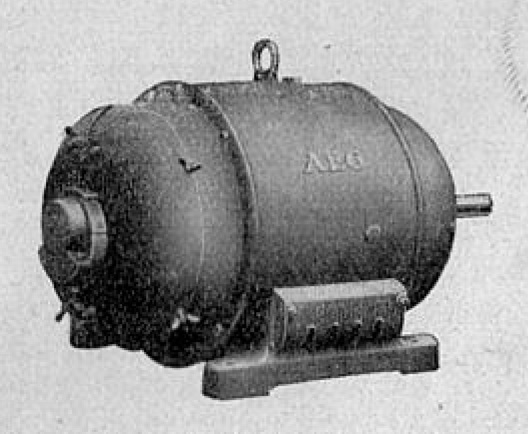
Offen.



Ventiliert geschützt.



Ventiliert geschlossen, mit beiderseitigem Rohranschluß.



Geschlossen.

TWL 11270

Abb. 3. Ausführungsformen von Gleichstrommotoren.

Drehrichtung.

Bei Bestellung ist der Drehsinn des Motors anzugeben, und zwar ob Rechtslauf im Uhrzeigersinn oder Linkslauf entgegen dem Uhrzeigersinn, von der Antriebsseite gesehen, gewünscht wird. Eine Umschaltung der Drehrichtung ist jedoch stets an Ort und Stelle durch Umlegen der Brücke am Klemmbrett des Motors möglich. (Siehe unter Schaltung von Gleichstrommotoren und Anlassern). Sind Motoren für wechselnde Drehrichtung (Reversierbetrieb) erforderlich, so können im allgemeinen wohl die normalen Typen verwendet werden; da jedoch die Drehzahlen in der Regel etwas höher sind, in einigen Fällen auch Doppelschlußmotoren statt Nebenschlußmotoren notwendig werden, so empfiehlt es sich, in diesen Fällen rückzufragen und bei Bestellung ausdrücklich „Reversierbetrieb" anzugeben.

Antriebsart.

Die Motoren werden im allgemeinen mit einem normalen zylindrischen Wellenende geliefert, können aber auch auf Bestellung mit einem zweiten an der Kollektorseite vorstehenden Wellenende ausgeführt werden. Bei der Bemessung von Riemenscheiben soll nicht unter den kleinst zulässigen Durchmesser gegangen werden, um einem zu starken Riemenzuge und erhöhter Lagerbeanspruchung vorzubeugen.

Aufstellungsart.

Die Motoren können auch für Befestigung an der Wand oder an der Decke geliefert werden, da die Lagerschilde um 90° bzw. 180° verdreht werden können. Die Welle muß jedoch hierbei stets horizontal liegen. Werden Motoren für Wandbefestigung bestellt, so ist anzugeben, ob die Antriebsseite rechts oder links, auf den Motor gesehen, und das Klemmbrett oben oder unten liegen soll.

HN_{80} und HN_{110} erfordern bei Befestigung an der Wand einen anormalen Bürstenstern, HN_4—HN_{60} bei geschützter bzw. ventiliert geschützter Ausführung Unterlagen. Für Wand- und Deckenbefestigung sind die Stellschienen der Motoren HN_4—HN_{60} in normaler Ausführung, diejenigen der Motoren von HN_{80} aufwärts nicht verwendbar.

Revision.

Wird eine Maschine zwecks Reparatur oder Revision auseinandergenommen, so muß dafür gesorgt werden, daß die Verbindungen der Wicklungen innerhalb der Maschine genau wieder so hergestellt werden können, wie sie vor dem Auseinandernehmen waren. Sorgfältige Bezeichnung der Drahtenden ist deshalb beim Auseinandernehmen geboten. Bei der Wiederherstellung oder der Kontrolle der Schaltung ist zu beachten:

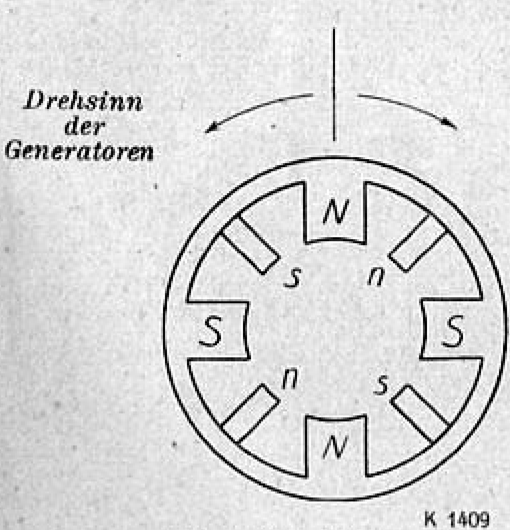


Abb. 4. Polarität der Haupt- und Hilfspole.

Der Stromverlauf des Hauptstromes soll sein: Netz — Compoundierung (falls vorgesehen) — Hilfspole — Anker — Netz.

Die Polarität der Hilfspole soll so sein, daß auf einen Nord-Hauptpol im Sinne der Ankerdrehung bei Motoren ein Nord-Hilfspol, bei Generatoren ein Süd-Hilfspol folgt (s. Abb. 4).

Die Richtigkeit der Schaltung wird mittels Kompaß nachgeprüft.

Vor dem Anlassen überzeuge man sich, daß der Anlasser auf „Aus" steht. Erst dann ist der Hauptschalter einzulegen. Das Anlassen der Motoren selbst geschieht durch langsames Drehen der Kontaktkurbel des Anlassers, bis in ihre Endstellung. Ueber Anlaufzeit siehe Seite 295. Das Ausschalten erfolgt durch schnelles Zurückdrehen der Kurbel bis zum Anschlag und Oeffnen des Hauptschalters.

Bürsteneinstellung.

Die Bürsten müssen vor Inbetriebnahme sorgfältig eingeschliffen werden. Dabei ist die Bedienungsvorschrift genauestens zu beachten, die den Maschinen mitgegeben wird. Die Einstellung der Bürsten ist durch Anschläge am Lagerkopf und Stellschrauben am Bürstenstern

Einstellung des Bürstenhaltersternes an Gleichstrommaschinen Type HN 80—700.

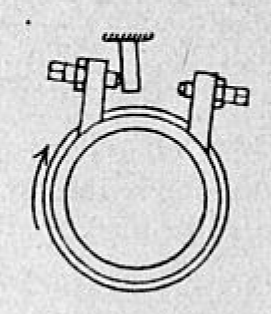


Abb. 5. K1410

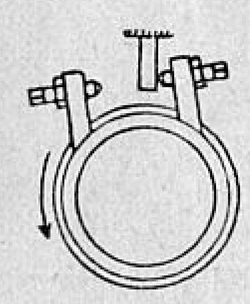


Abb. 6. K1411

Für Nebenschlußmotoren, die in einer Drehrichtung laufen. Die Pfeile geben die Drehrichtung an.

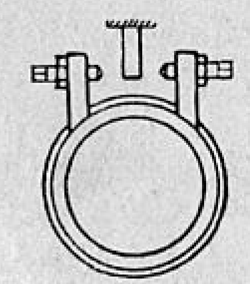


Abb. 7. K1412

Für Nebenschlußmotoren, die abwechselnd in beiden Drehrichtungen laufen; ferner für Reihenschluß- u. Doppelschlußmotoren sowie für Generatoren.

gesichert. Bei Motoren der Type HN 4 bis HN 60 ist die Bürsteneinstellung für Links- und Rechtslauf der Motoren die gleiche. Sie darf nicht verändert werden. Bei den übrigen HN-Typen sind aber die Bürsten im Sinne der Drehrichtung soweit wie möglich, d. h. also bis die Justierschraube am Anschlag liegt, zu verstellen (Abb. 5 und 6). Die Pfeile deuten die Drehrichtung an. Bei Motoren, welche für Lauf in beiden Drehrichtungen dienen sollen, sowie bei Doppelschluß- und Reihenschlußmotoren und Generatoren wird die Bürsteneinstellung entsprechend Abb. 7 gewählt und nicht geändert.

Wartung der Lager.

Sie ist von größter Bedeutung für die Erhaltung eines guten Zustandes der Maschine. Man beachte deshalb genauestens die mit den Maschinen mitgelieferten Behandlungsvorschriften. Der Riemen soll nicht zu straff gespannt sein, weil damit eine erhöhte Lagerabnutzung verbunden ist. Die zulässige Lagerabnutzung beträgt nur wenige Zehntelmillimeter. Wird sie größer, so ist ein Anstreifen des Ankers an den Polen und dadurch eine Gefährdung der Wicklungen möglich.

Die Lagerabnutzung ist deshalb von Zeit zu Zeit durch Prüfung des Luftspaltes zwischen Anker und Polen rund um den Anker festzustellen. Es ist besser, rechtzeitig für die Auswechslung abgenutzter Lager zu sorgen, als sich der Gefahr einer Beschädigung durch Anstreifen auszusetzen.

III. Drehstrommotoren.

Bauart.

Die Ausführung erfolgt als Motoren mit Kurzschlußläufer, Regulierschleifringläufer oder Anlaßschleifringläufer, jedoch können einzelne Motortypen nur mit Kurzschlußläufer geliefert werden. Die Bauart entspricht den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen (REM.).

Schutzarten.

Man unterscheidet:

1. offene Motoren, deren Lagerschilde große Oeffnungen besitzen;

2. geschützte Motoren, deren Lagerschilde jalousieartige Schlitze haben, so daß das Innere der Motoren zwar von der Luft durchstrichen wird, aber Schutz gegen grobe Fremdkörper und gegen Tropfwasser gebildet wird;

3. ventiliert geschützte, welche ebenso wie die geschützten gebaut sind, aber auf der Welle einen Ventilator tragen, der durch reichliche Kühlung gestattet, die Leistung der Motoren auf der Höhe der offenen Ausführung zu halten;

4. geschlossene Ausführung, welche Schutz gegen Spritzwasser und Staub usw. gewährt, wobei beide Lagerschilde ohne Oeffnungen sind. Da hierbei die Leistung infolge fehlenden Luftwechsels stark vermindert ist, werden

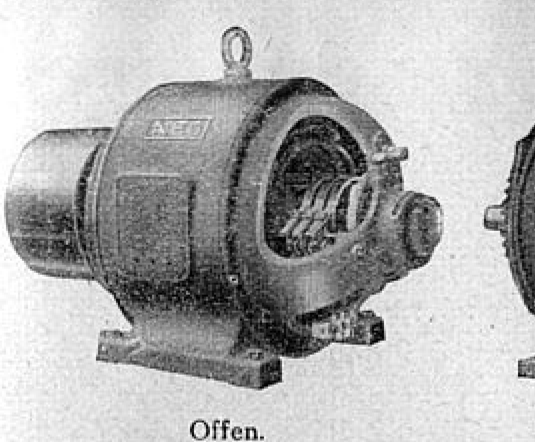
5. geschlossene Motoren mit Mantelkühlung von 2,2 kW ab gebaut. Diese besitzen außerhalb des antriebseitigen Lagerschildes einen von einer Blechkappe umschlossenen Ventilator, welcher die Kühlluft zwischen Ständergehäuse und einen dieses umgebenden Blechmantel bläst (Type VDNM). Die großen Motoren (VDM) besitzen einen Ventilator zwischen Läufernabe und antriebsseitigem Lagerschild, welcher die Kühlluft durch die Hohlräume zwischen dem Rücken der Ständerbleche und dem Ständermantel drückt. Die Kühlluft kommt bei beiden Ausführungen mit den Schleifringen und der Wicklung nicht in Berührung;

6. ventiliert geschlossene Motoren, welche an den geschlossenen Lagerschilden entweder mit gelochten Blechen versehene Öffnungen oder Stutzen zum Anschluß von Rohren besitzen, welche reine Kühlluft dem auf der Welle sitzenden Ventilator zu- und von ihm abführen.

Die Ausführungsformen, in denen die einzelnen Motortypen ausgeführt werden, zeigen die Abb. 8—10.

Drehrichtung.

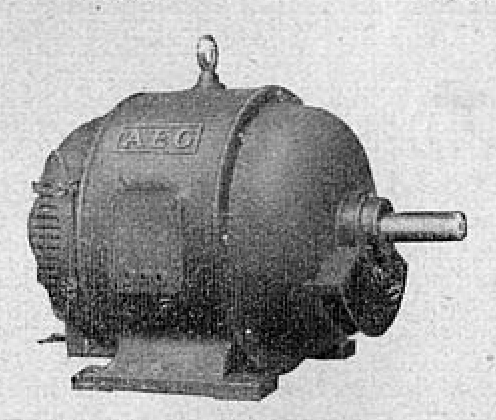
Welche Drehrichtung der Motor annimmt, kann nicht vorausbestimmt werden. Läuft der Motor nicht im gewünschten Sinne, soll also seine Drehrichtung geändert werden, so vertausche man am Hebelschalter zwei beliebige Leitungen miteinander. Die Drehrichtung eines Motors wird, von der Antriebsseite gesehen, bezeichnet mit Rechtslauf (im Uhrzeigersinn) oder Linkslauf (entgegen dem Uhrzeigersinn).



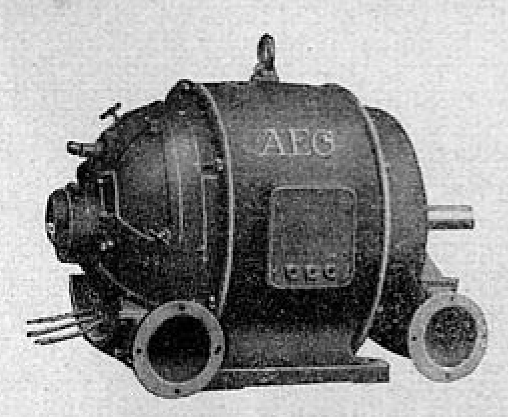
Offen. Ventiliert geschützt.



Geschlossen.



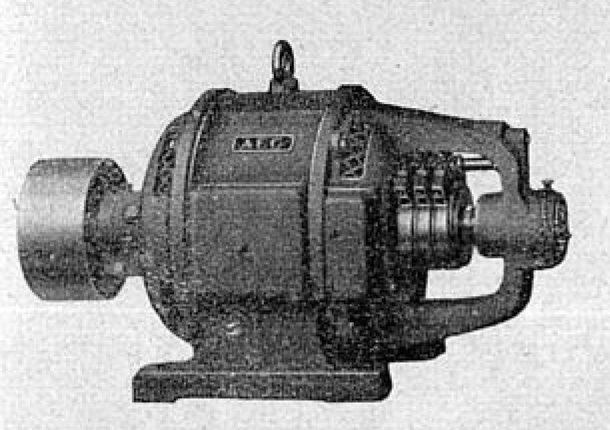
Ventiliert geschlossen.



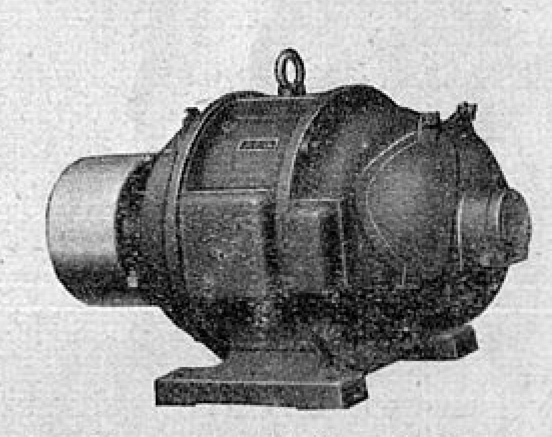
Ventiliert geschlossen,
mit beiderseitigem Rohranschluß.

K 1413

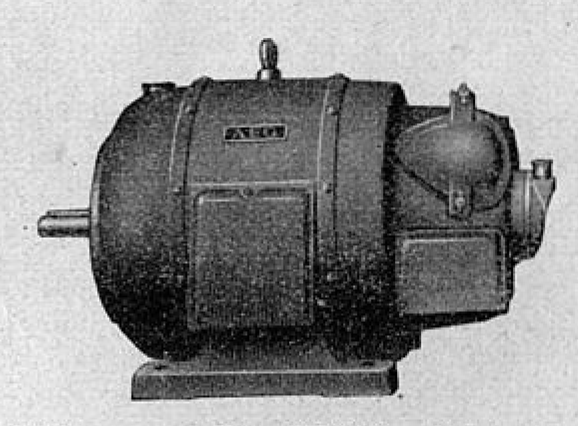
Abb. 8. Ausführungsformen von Drehstrommotoren Type D.



Offen.



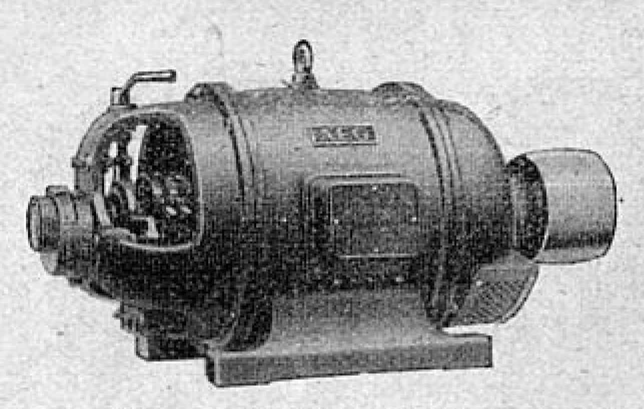
Geschlossen, nur bis Type VDN 30



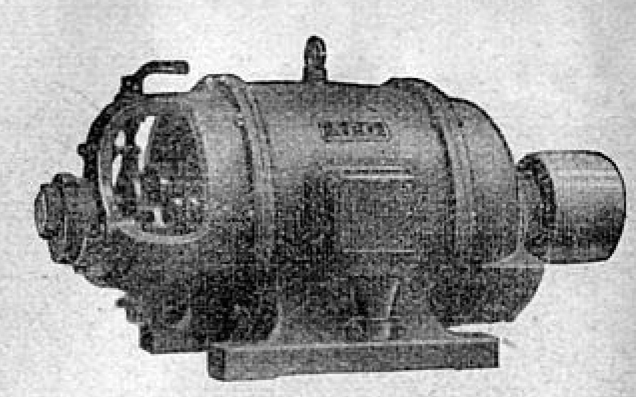
Mantelgekühlt, nur von Type VDN 40 aufwärts (Type VDNM).

K 1414

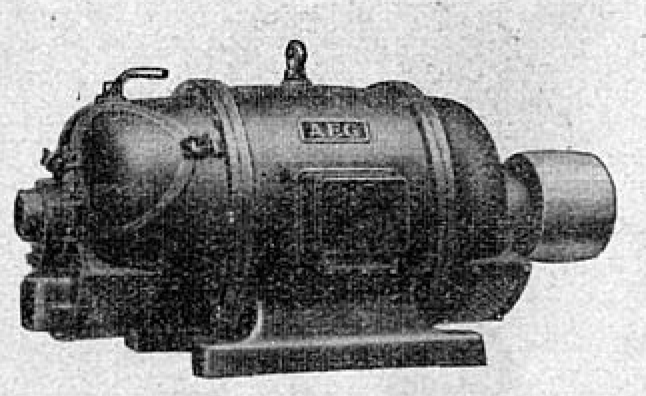
Abb. 9. Ausführungsformen von Drehstrommotoren Type VDN.



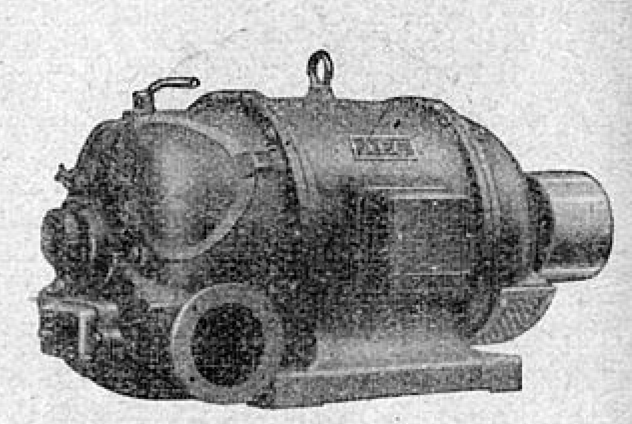
Offen, für Einführung isolierter Leitungen.



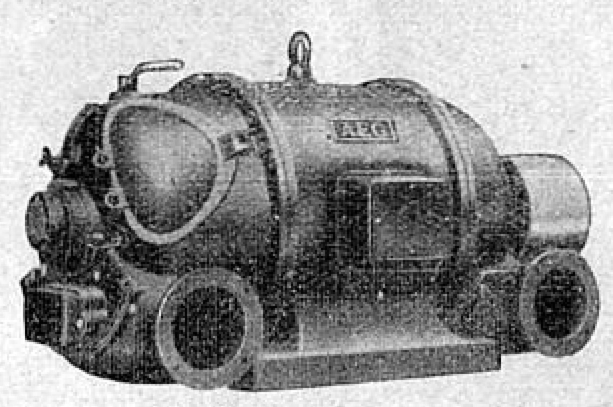
Offen, mit Kabelendverschluß.



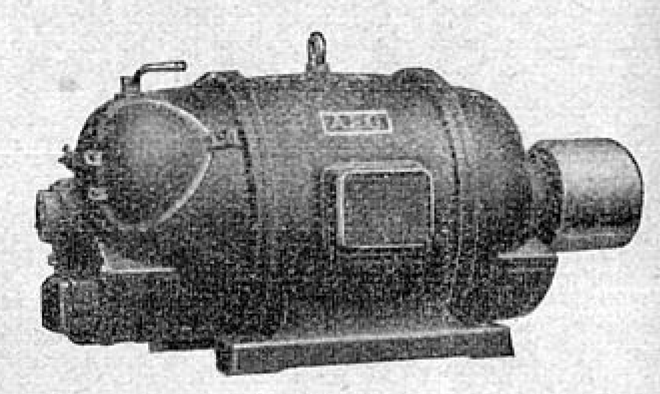
Ventiliert geschlossen.



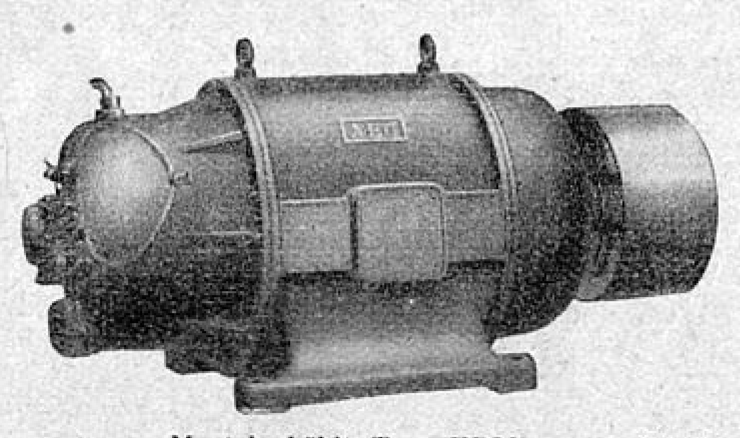
Ventiliert geschlossen, mit einseitigem Rohranschluß.



Ventiliert geschlossen, mit beiderseitigem Rohranschluß.



Geschlossen. TWL 8632



Mantelgekühlt, Type VDM. TWL 128

Abb. 10. Ausführungsformen von Drehstrommotoren Type VD.

Wahl der Läuferart.

Kurzschlußläufer haben keinerlei Stromzuführung zum Läufer, sie benötigen einen hohen Anlaufstrom. Regulierschleifringläufer besitzen drei Schleifringe mit dauernd aufliegenden Bürsten und laufen mit geringerer Stromstärke an. Anlaßschleifringläufer unterscheiden sich von letzteren nur durch die Vorrichtung zum Abheben der Bürsten und Kurzschließen der Schleifringe nach dem Anlassen, laufen also während des eigentlichen Betriebes ohne Bürstenabnützung.

Wo angängig, sollte wegen seiner Einfachheit der Kurzschlußläufer gewählt werden. Nach den „Normalen Bedingungen für den Anschluß von Motoren an öffentl. E. W." des VDE. sind hierfür im allgemeinen Motoren mit Kurzschlußläufer bis 4 kW zulässig, wenn das Anlaufdrehmoment nicht größer ist als ein Drittel des Nenndrehmomentes, größere Motoren, wenn dasselbe ein Sechstel beträgt und der Anlaßstrom nicht größer ist, als 10 kVA entspricht.

Man wählt den Anlaßschleifringläufer, wenn der Motor bequem zugänglich, eine Verminderung der Drehzahl, häufiges Anfahren oder Umkehrung der Drehrichtung nicht erforderlich ist, den Regulierschleifringläufer, wenn der Motor schwer zugänglich, eine Verminderung der Drehzahl, häufiges Anfahren oder Umkehrung der Drehrichtung erforderlich ist.

Antriebsart.

Die Motoren werden im allgemeinen mit einem normalen, zylindrischen Wellenende geliefert, können aber auch auf Bestellung mit einem zweiten, an der Schleifringseite vorstehenden Wellenende ausgeführt werden. Bei der Bemessung von Riemscheiben soll nicht unter den kleinstzulässigen Durchmesser gegangen werden, um einem zu starken Riemenzuge und erhöhter Lagerbeanspruchung vorzubeugen.

Aufstellungsart.

Die Motoren können auch für Befestigung an der Wand oder an der Decke geliefert werden, da die Lagerschilde um 90° bzw. 180° verdreht werden können. Die Welle muß jedoch hierbei stets horizontal liegen. Werden Motoren für Wandbefestigung bestellt, so ist anzugeben, ob die Antriebsseite rechts oder links auf den Motor gesehen und das Klemmbrett oben oder unten liegen soll.

Revision.

Wird eine Maschine zwecks Reparatur oder Revision auseinandergenommen, so muß dafür gesorgt werden, daß die Verbindungen der Wickelungen innerhalb der Maschine genau so wieder hergestellt werden, wie sie vor dem Auseinandernehmen waren. Zu dem Zwecke ist es notwendig, die Drähte mit den Buchstaben zu bezeichnen, die die Klemmen tragen, mit denen sie verbunden sind.

Schaltung.

Drehstrommotoren müssen immer so mit dem Netz verbunden werden, daß die drei Zuleitungsdrähte an die mit U V W bezeichneten Motorklemmen angeschlossen werden. Die anderen drei Motorklemmen mit den Bezeichnungen X Y Z lassen sich jedoch in zwei verschiedenen

Arten schalten. Verbindet man alle drei miteinander, so ist der Motor in Stern geschaltet. Mit dieser Schaltung werden die Motoren in der Regel geliefert, wenn in der Bestellung keine besonderen Wünsche geäußert worden sind. Die Motoren werden listenmäßig gebaut für Spannungen von 125, 190, 220. 380 und 500 Volt. Bei Motoren mit 2 Ständerklemmenbrettern befinden sich UVW auf der einen, XYZ auf der andern Seite; die Zuleitungen können an einer der beiden Seiten angeschlossen werden. Der Sternpunkt muß dann an der gegenüberliegenden Seite gebildet werden.

Verbindet man die Klemme X mit der Klemme W,
„ „ Y „ „ „ U,
„ „ Z „ „ „ V,

so ist der Motor in Dreieck geschaltet. Diese Schaltung ist wichtig für Kurzschlußmotoren, die mittels Sterndreieckschalter angelassen werden, die in Betriebsstellung in Dreieck geschaltet sind und in der Anlaufstellung vorübergehend in Stern an die Netzspannung gelegt werden, so daß hier z. B. bei 220 Volt Netzspannung ein Motor geeignet ist, der in Stern an 380 Volt Netzspannung gelegt werden könnte.

Bei Kurzschlußmotoren bis 1,1 kW Nennleistung sind Anlaßschalter ohne Anlaßstufe zulässig (siehe oben angeführte Normal-Bedingungen). Die Sicherungen müssen dann so stark bemessen sein, daß sie den dabei auftretenden hohen Anlaufstrom aushalten. Deshalb ist es zweckmäßig, entweder besondere Motorschutzvorrichtungen (vergl. S. 314) zu verwenden oder Schalter, die während des Anlaufens die Motorsicherung überbrücken. Eine Verminderung des Stromstoßes beim Anlassen wird durch Verwendung von Ständeranlassern oder Sterndreieckschaltern erzielt. Sterndreieckschalter PL Nr 36652/53 haben außerdem Sicherungen, die während des Anlassens überbrückt sind.

Beim Anlassen von Motoren mit Regulier-Schleifringläufer sind der Schalthebel und der Anlasser und bei Anlaß-Schleifringläufer-Motoren noch die Bürstenabhebevorrichtung in ganz bestimmter Reihenfolge zu bedienen. Bevor man den Motor anläßt, überzeuge man sich zunächst davon, daß am Motor die Bürsten auf den Schleifringen aufliegen und der Anlasser auf Stellung „Aus“ steht. Erst dann bediene man die Apparate in folgender Reihenfolge:

1. Schalter einschalten;
2. Kurbel des Anlassers langsam bis in die Endstellung drehen (über Anlaufzeit siehe Seite 295);
3. Bürsten am Motor abheben.

Beim Stillsetzen des Motors verfahre man folgendermaßen:*)

1. Hauptschalter ausschalten;
2. Kurbel des Anlassers in die Ausschaltstellung bringen;
3. Bürsten am Motor auflegen.

Bei Schaltwalzenanlassern mit Feldschalter und mit Ueberstrom-Nullspannungs-Schütz treten die Feldschalter bzw. die Schützen an Stelle der Schalter. Sie sind mechanisch oder elektrisch zwangläufig mit dem Anlasser verbunden. Bei Regulierschleifringläufern ist daher nur ein Handgriff zum Anlassen nötig; beim Anlaßschleifringläufer kommt die Betätigung der Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung hinzu.

*) Bei Hochspannungsmotoren sind die dem Motor beigefügten Vorschriften zu beachten.

Anlassen	Stillsetzen
1. Kurbel langsam einschalten;	1. Bürsten auflegen (beim Anlaßläufer);
2. Bürsten abheben (beim Anlaßläufer).	2. Kurbel schnell ausschalten.

Drehstrommotoren können auch mit angebauter Anlaßvorrichtung (Schaltwalze) geliefert werden. Bei diesen Motoren ist die richtige Reihenfolge der Anlaßvorgänge einschließlich Bürstenabheben durch die Konstruktion sichergestellt. Eine falsche Bedienung ist ausgeschlossen.

Die Bürsten des Motors müssen sorgfältig behandelt und vor Inbetriebnahme gut aufgeschliffen sein. Man beachte die Behandlungsvorschriften, die mit dem Motor mitgeliefert werden.

Wartung der Lager.

Sie ist von größter Bedeutung für die Erhaltung eines guten Zustandes der Maschine. Man beachte deshalb genauestens die mit den Maschinen mitgelieferten Behandlungsvorschriften. Der Riemen soll nicht zu straff gespannt sein, weil damit eine erhöhte Lagerabnutzung verbunden ist.

Die zulässige Lagerabnutzung beträgt nur wenige Zehntelmillimeter. Wird sie größer, so ist ein Anstreifen des Läufers im Ständer und eine Gefährdung der Wickelungen möglich. Die Lagerabnutzung ist deshalb von Zeit zu Zeit durch Prüfung des Luftspaltes zwischen Läufer und Ständer festzustellen. Es ist besser, rechtzeitig für die Auswechselung abgenutzter Lager zu sorgen, als sich der Gefahr der Beschädigung durch Anstreifen auszusetzen.

IV. Drehstrommotoren mit verbessertem Leistungsfaktor.

Von den verschiedenen Arten, den Leistungsfaktor (siehe Seite 231) von Drehstrommotoren zu verbessern, hat die Anordnung von **Drehstromerregermaschinen** in neuerer Zeit vielfach Eingang gefunden, und zwar

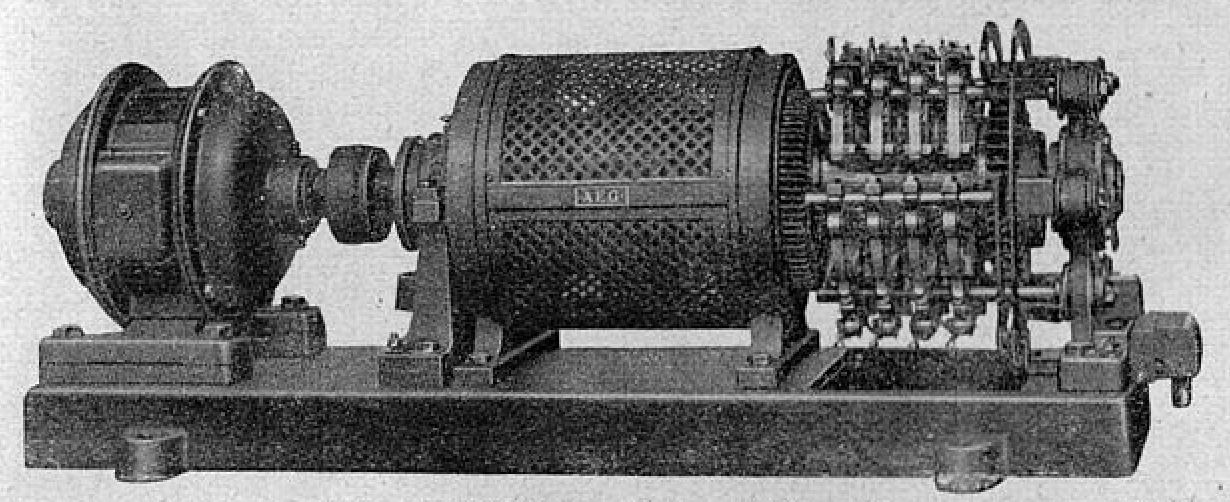


Abb. 11. Ständerlose Reihenschlußmaschine. K 1415

haben zwei Arten derselben praktische Bedeutung erlangt: die Reihenschluß- und die fremderregte Maschine. Die erstere Art ist eine ständer-

lose Maschine (Abb. 11). Sie ist wirtschaftlich für Motoren von etwa 150 PS an aufwärts und geeignet, den Leistungsfaktor des Motors zwischen 40% der Belastung und voller Last auf 1 zu bringen. Gibt man der Erregermaschine noch einen Stator mit Zusatzwicklung, so kann man auch bei noch geringerer Belastung die Kompensierung erreichen. Die fremderregte Maschine hingegen, wie sie in Abb. 12 dargestellt ist, gewährleistet eine Kompensierung des Motors bis zum Leerlauf. Die Schaltungen lassen Abb. 13 und 14 erkennen.

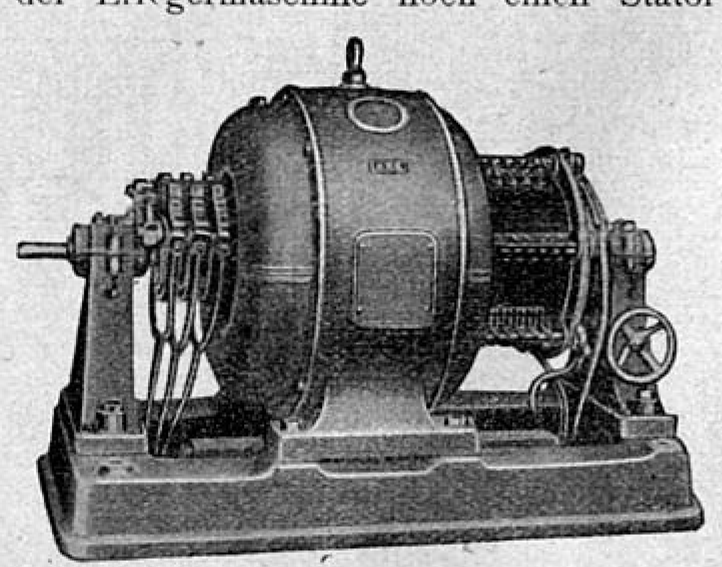


Abb. 12. K 1416
Fremderregte Drehstrom-Erregermaschine.

Die Reihenschlußmaschine wird durch einen besonderen kleinen Motor angetrieben und steht lediglich mit dem Läufer des zu kompensierenden Motors in elektrischer Verbindung. Die fremderregte Maschine muß mit dem Motor entweder direkt oder mittels Zahnradvorgelege verbunden sein. Ein Antriebsmotor ist bei dieser Maschine daher nicht erforderlich; dagegen ist für die Fremderregung zur Verbindung mit dem Netz ein kleiner Erregertransformator

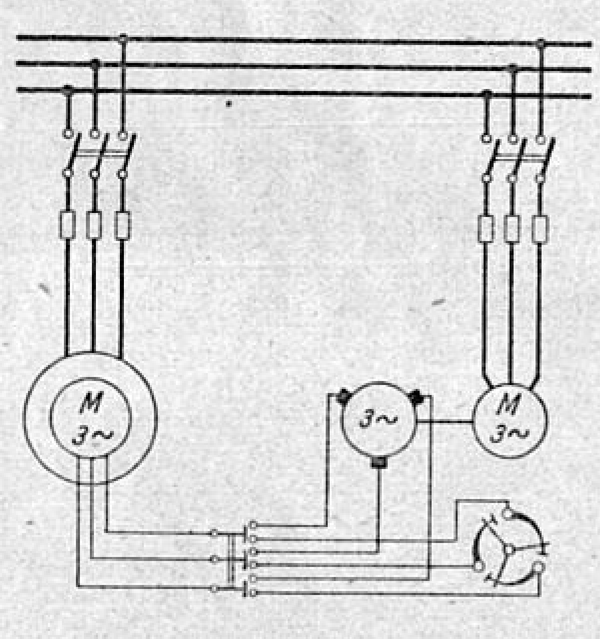


Abb. 13. K 1417
Schaltungsschema für eine ständerlose Reihenschlußmaschine.

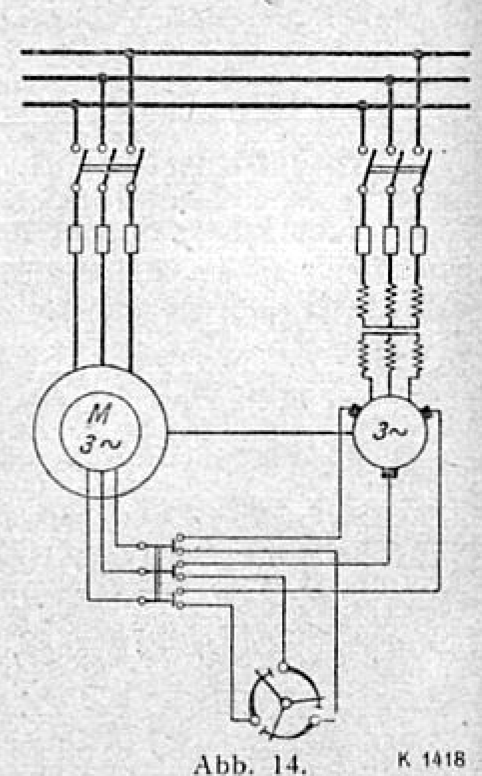


Abb. 14. K 1418
Schaltungsschema für eine fremderregte Drehstromerregermaschine.

notwendig. Den Verlauf der Leistungsfaktorkurven des Drehstrom-Asynchronmotors bei der verschiedenen Art der Kompensierung läßt Abb. 15 erkennen.

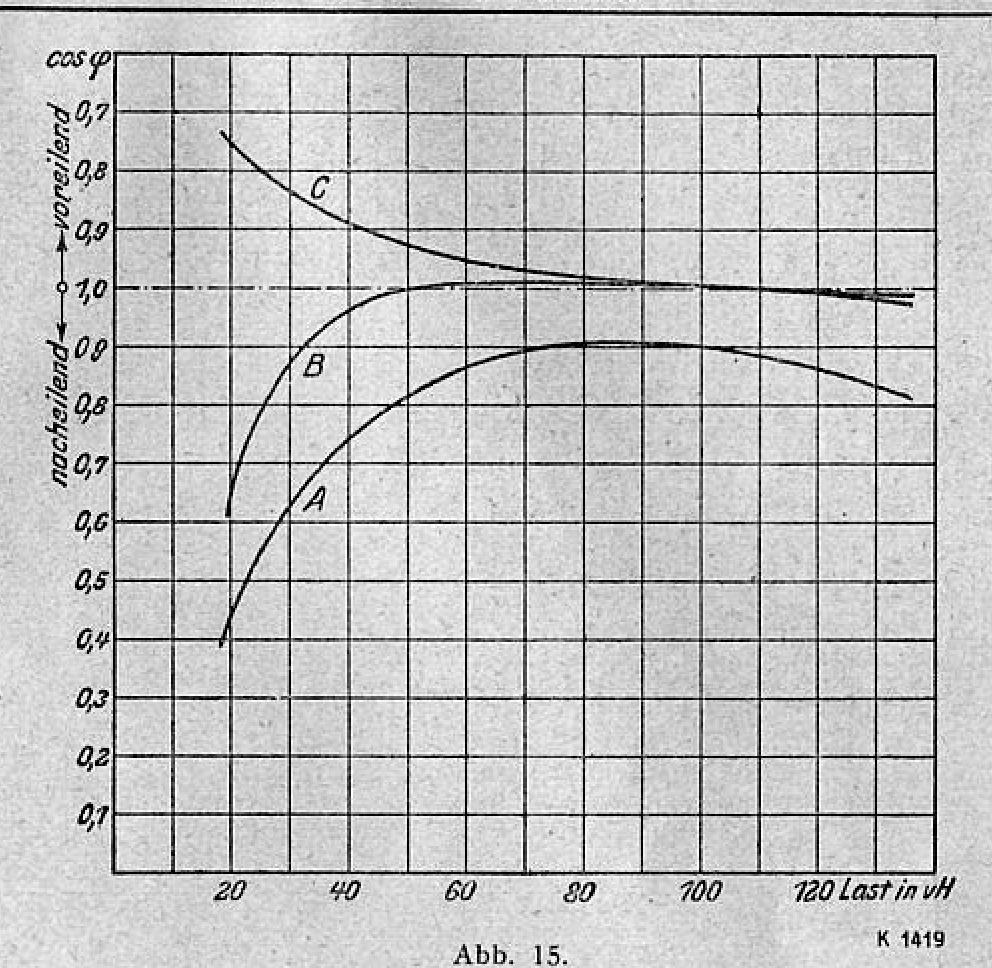


Abb. 15.
Leistungsfaktorkurven eines Drehstrom-Asynchronmotors.
Kurve A. Ohne Kompensation.
„ B. Mit Reihenschlußmaschine.
„ C. Mit fremderregter Erregermaschine.

Bei Motorleistungen unter 150 PS sind getrennte Drehstromerregermaschinen nicht immer lohnend. Um auch hier Motoren mit verbessertem Leistungsfaktor zu erhalten, werden die Drehstromerregermaschinen gewissermaßen in den Motor hineingebaut, so daß ein **kompensierter Motor** entsteht. Die Art der Kompensierung ist dabei, wie die Leistungsfaktorkurve (Abb. 16) zeigt, die einer fremderregten Drehstromerregermaschine. Derartige kompensierte Motoren unterscheiden sich von den normalen Motoren dadurch, daß der Strom nicht dem Ständer, sondern über Schleifringe dem Läufer zugeführt wird. Außer den Schleifringen erhält der Motor einen kleinen Kollektor,

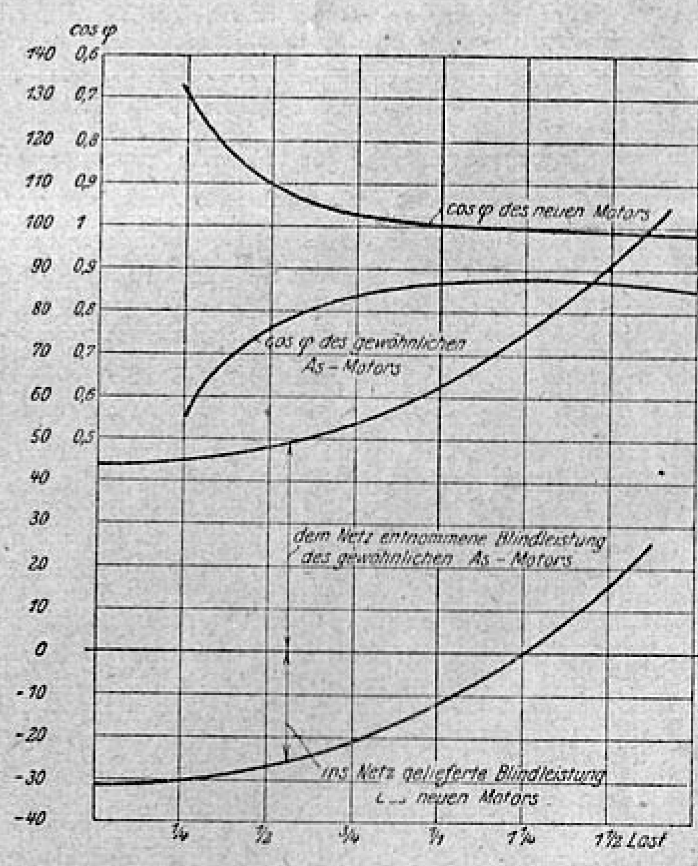


Abb. 16.
Schaulinien über Blindverbrauch und cos φ des gewöhnlichen Asynchronmotors und des kompensierten Asynchronmotors.

welcher mit den Windungen einer im Läufer untergebrachten Hilfswicklung verbunden ist. Der Anlasser wird in den Stromkreis des Ständers geschaltet, wie aus dem Schaltschema (Abb. 17) hervorgeht. Die äußere Ansicht zeigt Abb. 18.

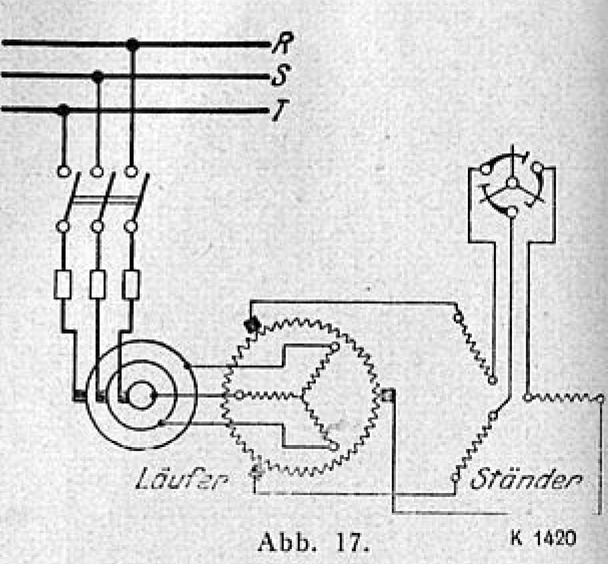


Abb. 17. K 1420
Schaltungschema eines kompensierten Drehstrom-Asynchronmotors.

Der **Synchronmotor** ist eine Umkehrung des Drehstromgenerators, unterscheidet sich also in seinem Aufbau nicht von diesem. Wie der Generator, muß der Synchronmotor von einer fremden Gleichstromquelle erregt werden; seine Drehzahl ist von der Periodenzahl des Netzes und der eigenen Polzahl abhängig, kann also nicht geregelt werden. Da der Synchronmotor mit Gleichstrom erregt wird, so braucht er dem Netz keinen Magnetisierungsstrom zu entnehmen, und sein Leistungsfaktor ist daher normalerweise gleich 1. Der besondere Vorteil des Synchronmotors ist jedoch, daß er bei höherer Erregung, als seiner Belastung entspricht (Uebererregung), eine voreilende Phasenverschiebung des Stromes gegen die Spannung hervorruft, also eine kapazitive Belastung des Netzes darstellt, welche den Blindstromverbrauch anderer Motoren im Netz kompensiert und damit den Gesamtleistungsfaktor des Netzes verbessern kann. Die Stromaufnahme des Synchronmotors darf bei Uebererregung nicht größer sein als normal, d. h. der maximale Strom ist bei jedem Leistungsfaktor der gleiche. Wie auf Seite 233 angegeben, ist der für die Belastung maßgebende

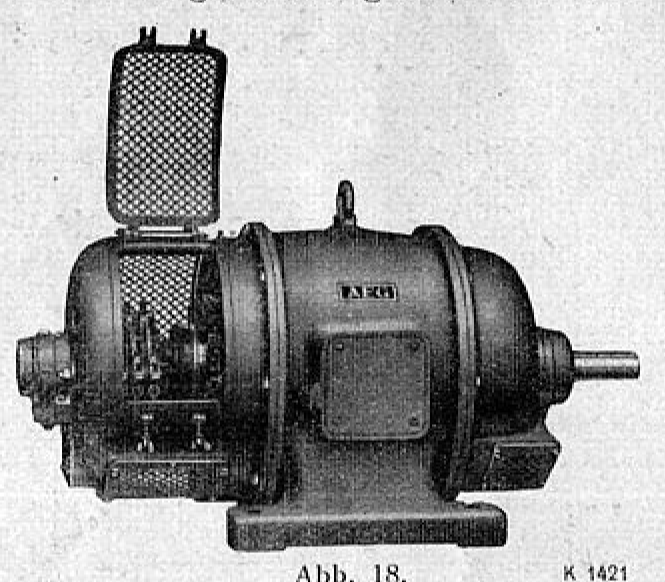


Abb. 18. K 1421
Kompensierter Drehstrom-Asynchronmotor.

$$\text{Scheinstrom} = \sqrt{\text{Wirkstrom}^2 + \text{Blindstrom}^2}.$$

Ist die Leistung des Motors im Verhältnis zur Gesamtleistung der Anlage groß, so wird es in vielen Fällen genügen, den Synchronmotor normal zu erregen, so daß er mit $\cos \varphi = 1$ arbeitet, um den Gesamtleistungsfaktor zu verbessern. Ist die mechanische Motorleistung in PS vorgeschrieben, so ist der Synchronmotor der verlangten Blindleistung entsprechend größer zu bemessen. Hierbei sind jedoch, wie auch aus obiger Gleichung hervorgeht, Wirkleistung und Blindleistung nicht einfach zu addieren, sondern rechtwinklig zusammenzusetzen (Abb. 19).

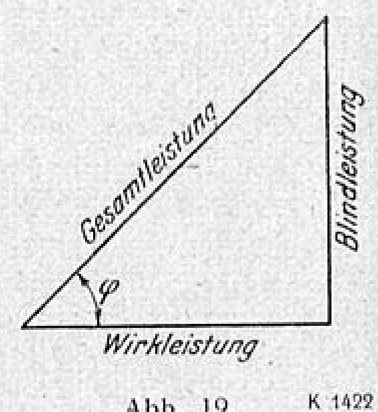


Abb. 19. K 1422
Geometrische Addition von Wirkleistung und Blindleistung.

Durch eine kleine Steigerung der Gesamtleistung kann man daher bei gleicher Wirkleistung schon eine beträchtliche Blindleistung erhalten. Als Wirkleistung des Motors ist die aufgenommene Leistung, d. h. die verlangte mechanische Leistung dividiert durch den Wirkungsgrad einzusetzen. Ist eine dauernde Verwendung mechanischer Leistung eines genügend großen Synchronmotors nicht vorhanden, so kann der Synchronmotor auch ohne Abgabe mechanischer Leistung nur als leerlaufender Phasenschieber arbeiten. Er ist in diesem Fall

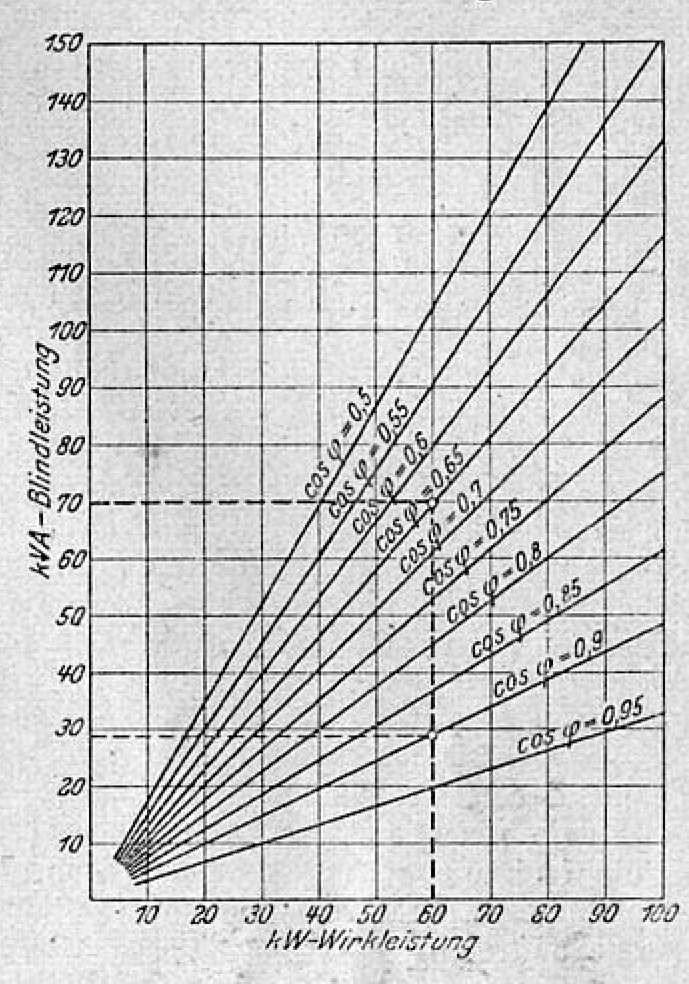


Abb. 20. K 1423
Ermittlung der Blindleistung aus der Wirkleistung und dem Leistungsfaktor.

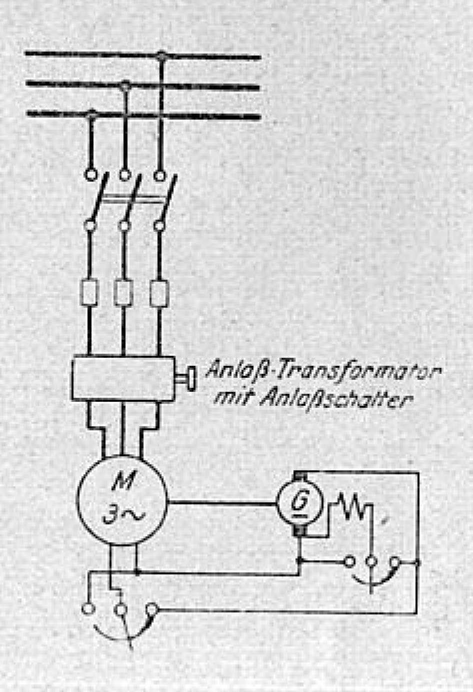


Abb. 22. K 1425
Schaltungsschema für asynchrones Anlassen eines Synchronmotors mittels Anlaßtransformators.

nur für die verlangte Blindleistung zu bemessen und muß maximale Erregung erhalten. Die Diagramme Abb. 20 und 21 ermöglichen die bequeme Wahl der geeigneten Größe.

Beispiel: In einer Anlage mit einem Gesamtverbrauch von 60 kW soll der Leistungsfaktor von 0,65 auf 0,9 verbessert werden, und zwar durch Aufstellung eines Synchronmotors, der außerdem eine mechanische Leistung von 55 kW abgeben soll. Wie groß ist der Synchronmotor zu wählen?

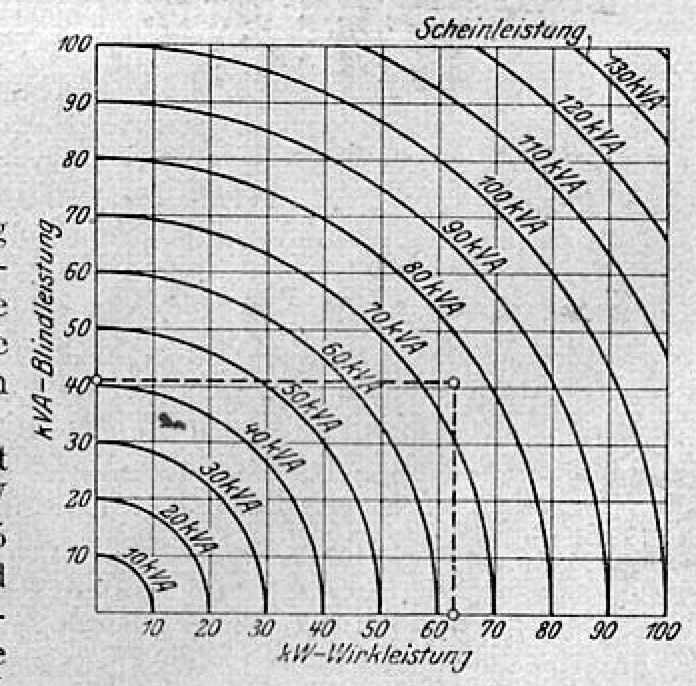


Abb. 21. K 1424
Ermittlung der Scheinleistung aus der Blindleistung und der Wirkleistung.

Lösung: Zunächst wird festgestellt, welchen Blindleistungsverbrauch die Anlage hat. Dieser ergibt sich nach Abb. 20 aus der Wirkleistung von 60 kW und $\cos \varphi = 0{,}65$ zu 70 kVA. Ferner erhält man für den vorgeschriebenen Leistungsfaktor von $\cos \varphi = 0{,}9$ als höchsten Blindleistungsverbrauch 29 kVA. Der aufzustellende Synchronmotor muß also die Differenz, d. h. 41 kVA Blindleistung kompensieren. Sein gesamter Verbrauch an Wirkleistung beträgt, da er 55 kW Wirkleistung abgeben soll, unter Berücksichtigung seines Wirkungsgrades von 88% 55 : 0,88 = 62,5 kW. Nach Abb. 21 erhält man für diese Wirkleistung und 41 kVA Blindleistung als Scheinleistung des Synchronmotors 75 kVA.

Der Synchronmotor kann nicht in der einfachen Weise wie der normale Drehstrommotor angelassen werden. Die einfachste Art ist der asynchrone Anlauf, welcher jedoch nur bei geringer Anlaufbelastung möglich ist. In diesem Falle erhält er Dämpferstäbe und Kurzschlußringe, welche gewissermaßen einen Käfiganker bilden. Damit der Stromstoß nicht zu groß wird, wird ein Anlaßtransformator verwendet. Die Schaltung geht aus Abb. 22 hervor. Der Stromverbrauch beim Anlauf ist vom Anlaufmoment abhängig. Dieses kann bis zu 25% der Scheinleistung des Synchronmotors betragen; hierbei beträgt der Anlaufstrom etwa bis zum Doppelten des normalen Vollaststromes. Ist wegen dieses beträchtlichen Anlaßstromes der asynchrone Anlauf nicht erwünscht, so kann der Motor mittels Anwurfmotors auf synchrone Drehzahl gebracht und wie ein Generator synchronisiert werden. Hierbei ist naturgemäß Anlauf ohne Last üblich. Der Synchronmotor ist ferner nur da geeignet, wo keine Drehzahlregelung erforderlich ist und keine großen Belastungsstöße auftreten.

V. Motorschutzeinrichtungen.

Die üblichen Schmelzsicherungen sind aus dem Bedürfnis des Schutzes der Leitungen gegen Ueberlastungen entstanden und deshalb auch den Leitungsquerschnitten entsprechend abgestuft. Als Motorsicherung müssen sie so groß gewählt werden, daß sie den Anlaufstrom des Motors aushalten können; sie sprechen dann aber bei geringeren dauernden Ueberlastungen des Motors, z. B. um 20% der Normallast, nicht an, obgleich diese zu einer schädlichen Erwärmung und schließlich zu einem Verbrennen des Motors führen können.

Will man einen wirksamen Schutz des Motors gegen derartige Ueberlastungen erreichen, d. h. besonders in Fällen, wo der Motor nur einer mangelhaften Beaufsichtigung ausgesetzt ist, so wendet man Einrichtungen an, die zwar auch auf der Wärmewirkung des Stromes beruhen, die aber bei kurzen Stromstößen infolge ihrer größeren Masse nicht ansprechen, sondern die Abschaltung erst bei längerer Erwärmung vornehmen. Bei Drehstrom schützen sie die Motoren auch bei Ausbleiben einer Phase, da der mit zwei Phasen weiterlaufende Motor infolge seiner größeren Stromaufnahme die Schutzvorrichtung auslöst.

Die einfachste Form des Motorschutzes ist in Abb. 23 dargestellt. Sie besteht aus dem **Motorschutzstöpsel.** Die bei Ueberlastung des

Motors auftretende erhöhte Wärmeentwicklung wirkt auf eine Heizspule und bringt ein Lot, das die Kontakte der Schutzvorrichtung zusammenhält, zum Schmelzen, wodurch sich der unter Federdruck stehende Kontakt öffnet. Die Heizspulen sind der Nennstromstärke entsprechend abgestimmt und lösen bei dauernder Ueberschreitung derselben um 15—20% aus. Um die Motoren auch bei Kurzschluß sofort auszuschalten, sind noch vor den Schutzstöpseln gewöhnliche Schmelzsicherungen vorzusehen. Die Motorschutzstöpsel dürfen mit Rücksicht auf den entstehenden Unterbrechungsfunken nur für Wechsel- oder Drehstrom und nur in besonders konstruierten Schutzkästen mit festgeschlossenem Deckel, aber nicht in feuer- und explosionsgefährlichen Räumen verwendet werden. In diese Kästen können auch die Kurzschlußsicherungen miteingebaut werden (PL Nr 52901—10).

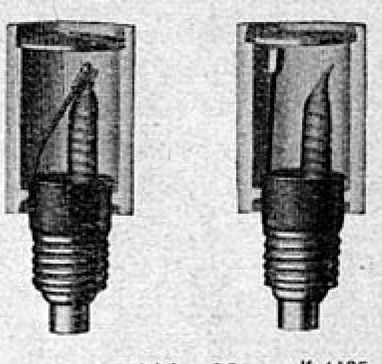


Abb. 23. K 1426
Motorschutzstöpsel.
Vor dem Ansprechen. Nach dem Ansprechen.

Nach dem Auslösen kann der Schutzstöpsel ausgeschraubt und wieder gelötet werden, indem man die Kontakte durch einen Schraubenzieher zusammendrückt und mit einem heißen verzinnten Lötkolben erwärmt. Man verwende, wenn das alte Lot nicht ausreicht, nur solches von 60% Zinn und 40% Blei und vermeide Lötwasser. Auch darf kein Lot in den Sockel fließen. Ueberflüssiges Lot auf den Kontakten soll vor dem Erkalten abgeschleudert werden.

Die Verwendung des Lötkolbens ist bei der **selbstlötenden Motorschutzvorrichtung** (PL Nr 52987—89) vermieden. Sie ist in Druckknopfschalterform ausgeführt. Für jede Phase ist eine auf einem Metallstab isoliert angeordnete Heizwicklung vorgesehen, die bei dauernder Ueberlastung ein Lot erweicht, hierdurch die eingelötete Achse eines Sperrades freigibt und den Schalter der betr. Phase auslöst. Nach dem Ansprechen erhärtet das Lot. Die Schutzvorrichtung wird in einfachster Weise durch Niederdrücken des Druckknopfes wieder eingeschaltet (Abb. 24). Drehstrommotoren mit einer Nennstromstärke bis 20 Amp., 220 Volt bzw. 10 Amp., 500 Volt werden direkt durch diese Apparate geschützt, während für größere Motoren die Schutzvorrichtungen in Verbindung mit Selbstanlassern usw. verwendet werden müssen. Abb. 25 zeigt eine dreipolige selbstlötende Schutzvorrichtung mit Kurzschlußsicherungen und Schalter in einem Kasten zusammengebaut.

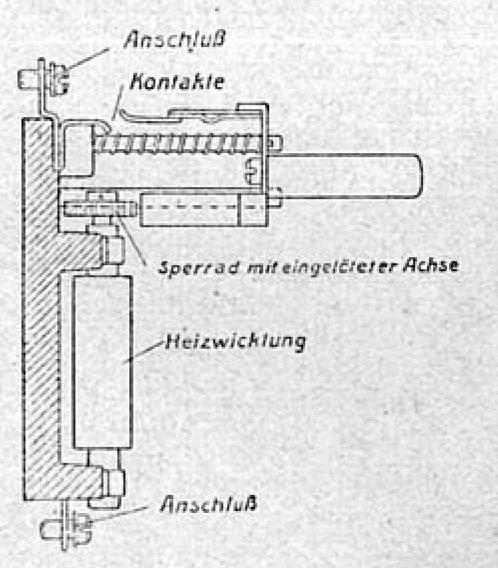


Abb. 24. K 1427
Selbstlötendes Schutzelement.

In Abb. 26 ist der **Motorschutzschalter** Form CK dargestellt, dessen Wirkung auf der Ausdehnung eines Hitzdrahtes beruht. Hierdurch wird ein Kontakt unterbrochen, der die Nullspannungsspule eines Selbstschalters auslöst. Der Apparat kann zugleich als Schalter benutzt werden, da er einen Handhebel besitzt. Das Wärmerelais (Hitzdraht) ist gegen kurze Stromstöße unempfindlich, löst aber bei länger andauernder Ueberlastung den Schalter aus. Eine Kurzschlußvorrichtung an dem

Relais verhindert das Durchschmelzen der Hitzdrähte bei sehr hohen Ueberlastungen durch Ueberbrückung der Hitzdrähte nach eingeleitetem Ausschaltvorgang. Der Nullspannungskontakt schaltet den Motor auch bei ausbleibender Netzspannung und Unterbrechung einer Phase ab, löst aber bei erheblichen Spannungsschwankungen noch nicht aus. Das

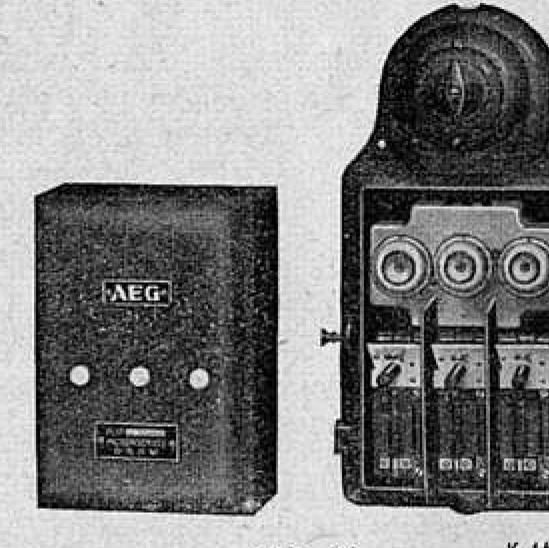


Abb. 25. K 1428
Selbstlötende Motorschutzvorrichtung.
Deckel abgenommen.

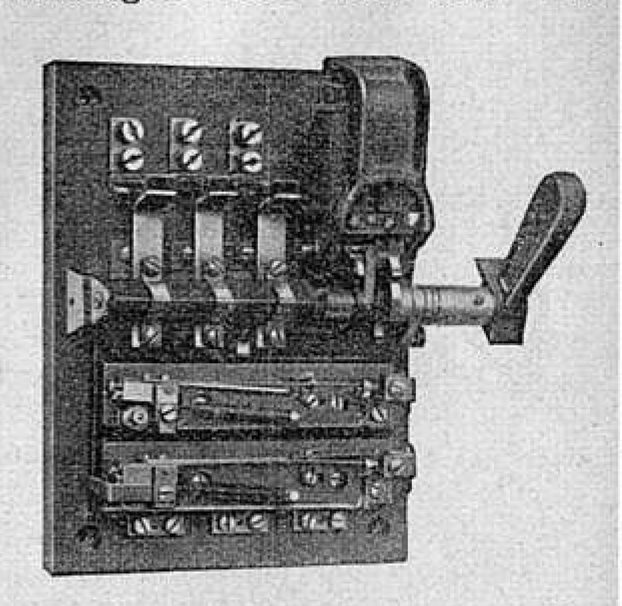


Abb. 26. K 1429
Motorschutzschalter.
Schutzkasten abgenommen.

Wiedereinlegen der Schutzvorrichtung nach dem Ansprechen erfolgt mittels des Handgriffs. Der Motorschutzschalter wird für Gleichstrom, Wechselstrom und Drehstrom, und zwar sowohl als Form CK als auch als Form ACK, in gußeisernem Gehäuse, geliefert.

Der Hitzdraht ist der jeweiligen Stromstärke entsprechend zu wählen und ist zu diesem Zweck auswechselbar eingerichtet. Dies geschieht nach Abb. 27 dadurch, daß man vor dem Herausnehmen des Hitzdrahtes a die Schrauben b und c herausdreht und die Stellschraube d so dreht, daß der darauf befindliche Längenschlitz sich mit demjenigen im rechten Kontaktbock e deckt. Der Hitzdraht kann dann herausgenommen und durch einen anderen ersetzt werden. Nach dem Einlegen des neuen Drahtes muß derselbe durch die Stellschraube d gespannt werden. Hierbei bewegt sich das rechte Ende des Auslösearmes f nach unten und bewirkt dabei zunächst das Schließen des Kontaktes g. Der Draht wird dann noch weiter gespannt, so daß das Ende des Auslösearmes f einige Millimeter von der Feder des Kontaktes g absteht. Ob dieser Abstand der richtige ist, muß nun durch Inbetriebnahme des Motors ausprobiert werden.

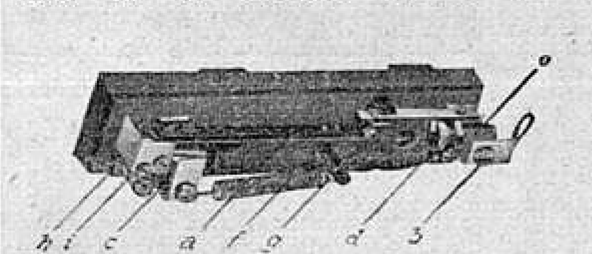


Abb. 27. K 1430
Wärmerelais eines Motorschutzschalters.

VI. Anlasser.

Für Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer kommen vier Arten des Anlassens in Betracht:

1. Einschalten des Motors durch einfachen, dreipoligen Schalter. Ueber Sicherungen siehe S. 308. Nur zulässig, wo der hohe Anlaufstrom vom ca. 5—6fachen des normalen nicht stört, im allgemeinen daher nur bis ca. 1,1 kW gebräuchlich.

2. Anlassen durch Stern-Dreieckschalter. Ueber Wahl der Schaltung vgl. S. 308. Die Wicklungen der drei Phasen werden hierbei in Anlaßstellung im Stern, in Betriebsstellung im Dreieck geschaltet.

3. Ständeranlasser, welche Widerstände nach Art gewöhnlicher Anlasser vor den Ständer schalten und den Anlaufstrom verringern.

4. Anlaß-Transformatoren, welche die zugeführte Spannung herabtransformieren und dem Motor nur stufenweise, bis zur Betriebsspannung ansteigende Spannung zuführen.

Für alle Arten des Anlassens, insbesondere für 2. und 3., werden sowohl Apparate für normale leichte Betriebe nach Art gewöhnlicher Anlasser als auch solche in gekapselter Ausführung nach Art der Schaltwalzenanlasser für schmutzige und staubhaltige Betriebe und gegebenenfalls auch in Oelfüllung für explosionsgefährliche Betriebe geliefert.

Für Drehstrommotoren mit Schleifringläufer und für **Gleichstrommotoren** werden die nachstehenden Arten von Anlassern verwendet:

1. Metallanlasser sind Flachbahnanlasser, d. h. sie besitzen eine ebene Kontaktbahn, auf welcher eine Kurbel schleift. Die Kontaktbahn sowie die eigentlichen Widerstände sind nach außen abgedeckt, so daß spannungsführende Teile gegen zufällige Berührung geschützt sind.* Dagegen gestatten die Widerstandsgehäuse freien Luftzutritt zur Abkühlung des Widerstandsmaterials, welches, soweit es nur zum Anlassen dient, für vorübergehenden Stromdurchgang berechnet ist. Metallanlasser sollen nur für feststehende Motoren verwendet werden.

2. Flüssigkeitsanlasser werden nur für größere Leistung und ebenfalls nur für feststehende Motoren gebraucht. Als Flüssigkeit erhalten sie bei Inbetriebsetzung eine 10- bis 15-prozentige Pottasche- oder Sodalösung, welcher gegen Einfrieren pro Liter Wasser 300 ccm Glyzerin von 1,25 spez. Gewicht zugesetzt werden können. Die Flüssigkeit wird nicht mitgeliefert.

Bei Anlassern für Gleichstrommotoren wird die Erregerwicklung der Magnete mit einem besonderen, aus Metallwiderständen bestehenden Feldschalter in zwangläufiger Folge mit dem Flüssigkeitsanlasser ein- und ausgeschaltet.

3. Metallanlasser mit Oelkühlung unterscheiden sich von den gewöhnlichen Metallanlassern dadurch, daß das Widerstandsmaterial und die Kontaktbahn in geschlossenem Gehäuse unter Oel liegen. Deshalb sind diese Anlasser besonders geeignet für feuchte, staub- und schmutzhaltige Räume und solche mit Explosionsgefahr.

* Schutzarten vergl. REA

4. Schaltwalzenanlasser sind im Gegensatz zu Metallanlassern nach Art der Straßenbahnkontroller gebaut, besitzen also eine Schaltwalze mit Kontaktsegmenten, von denen der Strom durch Kontaktfinger abgenommen wird. Alle Schaltwalzenanlasser sind vollkommen gekapselt, sind also staub- und regendicht. Die Widerstände sind meist eingebaut. Bei solchen mit getrennten Widerständen sind diese normal mit perforiertem Blech abgedeckt. Infolge ihrer derben Bauart eignen sich Schaltwalzenanlasser für schwere und staubige Betriebe, Aufstellung im Freien und für ortsveränderliche Motoren. Die Möglichkeit eines zwangläufigen Ablaufs der Schaltvorgänge machen sie für ungeschultes Personal besonders geeignet. Schaltwalzenanlasser mit Oelfüllung sind außer für genannte Zwecke gleichzeitig für explosionsgefährliche Betriebe verwendbar, da sowohl Schaltwalze als auch Widerstände in Oel liegen. Bei allen Schaltwalzenanlassern mit eingebauten Widerständen wird auf seltenes Anlassen, d. h. in Abständen von über einer Stunde gerechnet. Bei Abständen von weniger als einer Stunde bis zehn Minuten sind solche mit getrennten Widerständen oder mit Oelkühlung zu nehmen. Bei noch geringerem Abstande ist Anfrage erforderlich.

Für Krane und elektrische Bahnen sind Schaltwalzenanlasser in der hier dargestellten Form ungeeignet.

Für Drehstrommotoren ist bei der Bemessung der Größe des Anlassers stets außer auf die Zahl der PS auch auf den Läuferstrom pro Schleifring sowie die Spannung zwischen zwei Schleifringen bei Stillstand des Motors zu achten. Der Anlasser muß also zu der Motortype passen.

VII. Klemmenbezeichnungen und innere Schaltung von Maschinen und Anlassern.

Gleichstrom.

Motoren.

TWL 1128A

Die Klemmen auf dem Klemmbrett eines Gleichstrommotors sind wie folgt bezeichnet:

A und B die von dem Anker bzw. Bürsten abgeführten Leitungen,
C und D die von der Nebenschlußwicklung abgeführten Leitungen,
E und F die von der Reihenschlußwicklung abgeführten Leitungen,
G und H die von der Hilfspol-(Wendepol-)Wicklung abgeführten Leitungen,
J und K die bei fremderregten Maschinen von der Erregerwicklung abgeführten Leitungen.

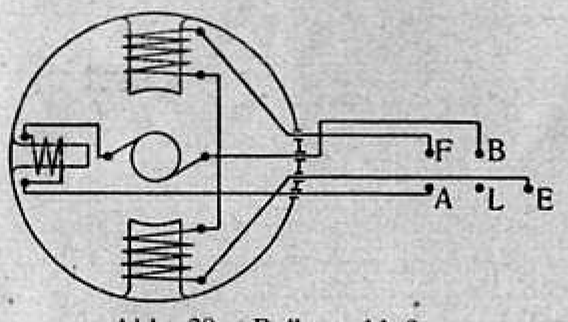


Abb. 28. Reihenschlußmaschinen der Type HN 4 bis HN 60.

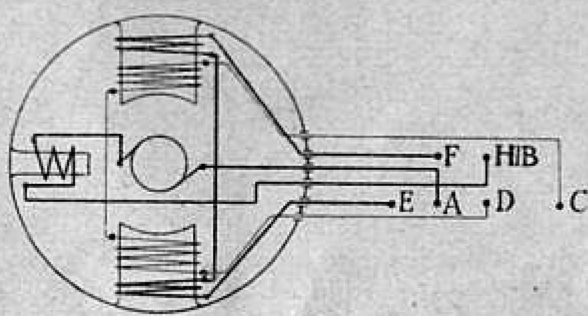


Abb. 29. Nebenschlußmaschinen der Typen HN 5 bis HN 60 besitzen als Motor Compound-Wicklung. Bei Benutzung als Generator bleibt diese ausgeschaltet.

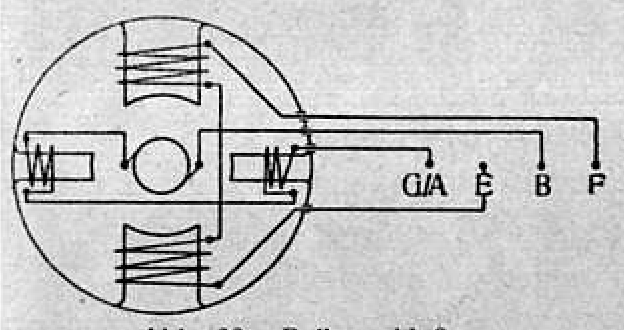


Abb. 30. Reihenschlußmaschinen der Type HN 80 bis HN 110.

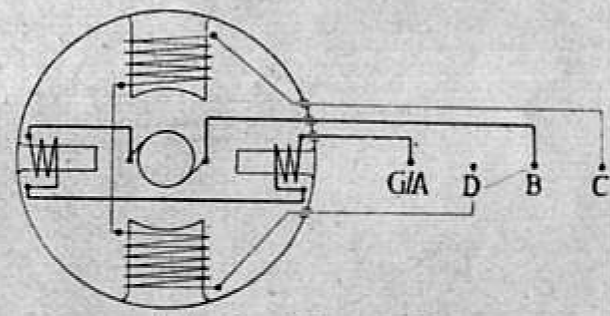


Abb. 31. Nebenschlußmaschinen der Type HN 80 bis HN 110.

(Bei den vierpolig. Maschinen HN 140–HN 700 ist die Klemmenbezeichnung die gleiche.)

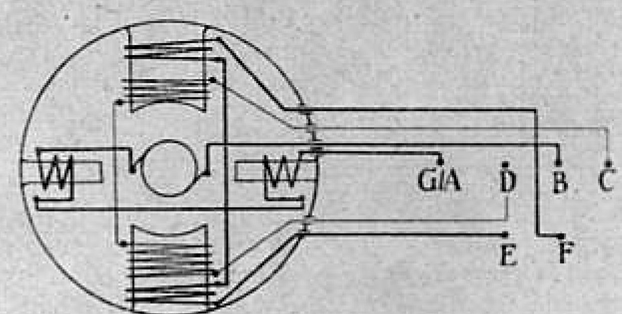


Abb. 32. Doppelschlußmaschinen der Type HN 80 bis HN 110.

Anlasser.

TWL 11285

Die Klemmen eines Gleichstromanlassers sind wie folgt bezeichnet:

L die von dem Netz kommende Leitung,

M die von der Nebenschluß-(Magnet-) Wicklung kommende Leitung,

R die vom Anker kommende Leitung.

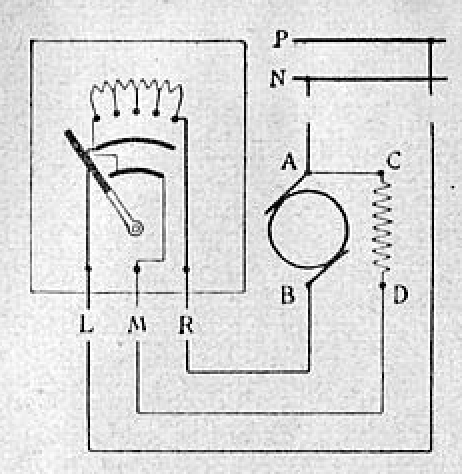


Abb. 33.
Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren ohne Regulierung.

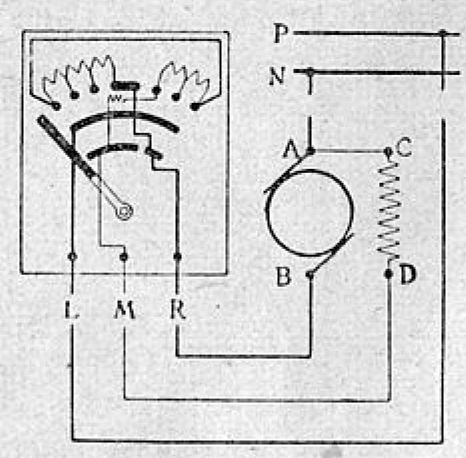


Abb. 34.
Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren zur Erhöhung der Drehzahl durch Feldschwächung.

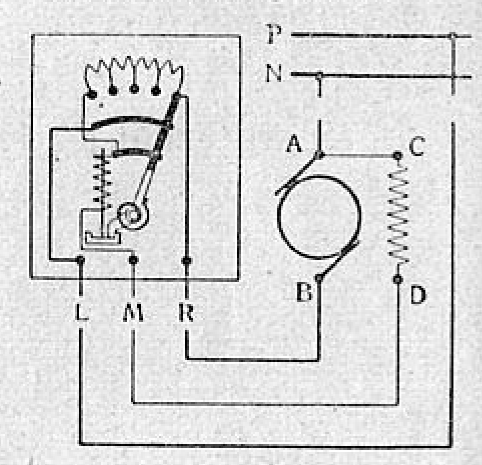


Abb. 35.
Anlasser für Gleichstrom-Nebenschlußmotoren mit selbsttätiger Nullspannungsausschaltung.

Drehstrom.

Motoren.

TWL 11286

Die Klemmen eines Drehstrommotors sind bezeichnet mit:

U V W Anfang der drei Ständerwicklungen,
X Y Z Ende der drei Ständerwicklungen,
u x/y v Ende einer zweiphasigen Läuferwicklung,
u v w Ende einer dreiphasigen Läuferwicklung.

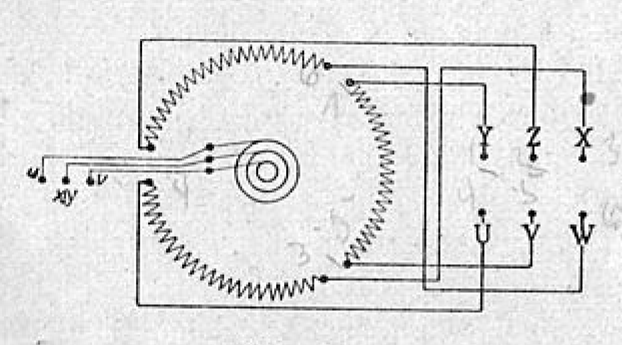


Abb. 36.
Drehstrommotor mit einem Ständer-Klemmbrett. Läufer ist mit zweiphasiger Wicklung versehen.

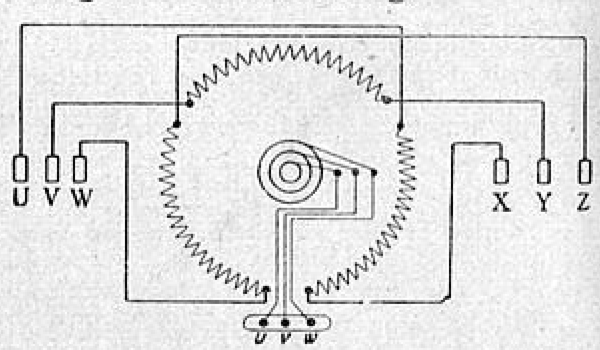


Abb. 37.
Drehstrommotor mit zwei Ständer-Klemmbrettern. Läufer ist mit dreiphasiger Wicklung versehen.

Ueber Stern- und Dreieckschaltung siehe Seite 307/308.

Anlasser.

TWL 11587

Die Klemmen eines Drehstromanlassers tragen folgende Bezeichnungen:

Ständeranlasser: R S T die vom Netz kommenden Leitungen,
U V W die vom Motor kommenden Leitungen,
Läuferanlasser: u x/y v für zweiphasige Läufer,
u v w für dreiphasige Läufer.

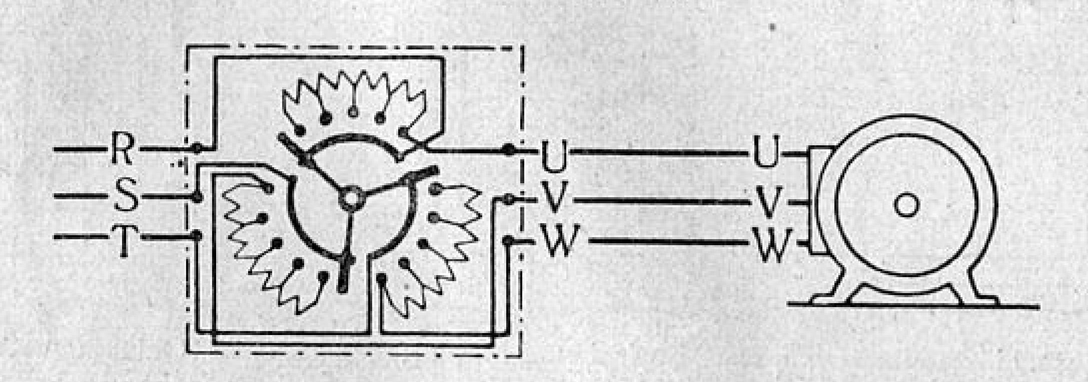


Abb. 38. Ständeranlasser für Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer.

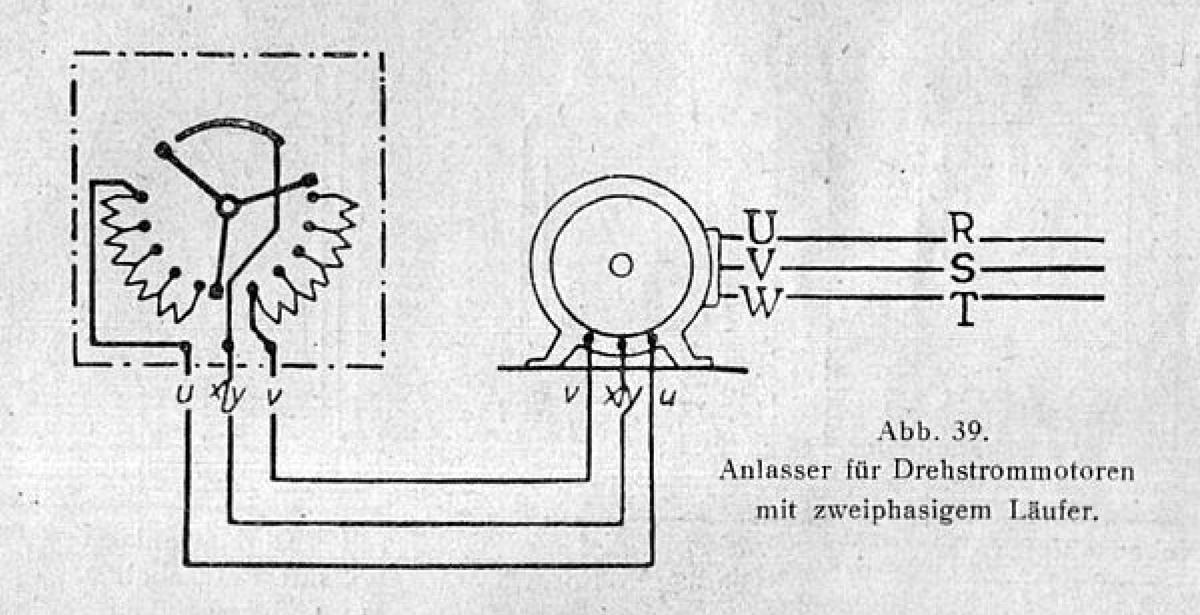


Abb. 39.
Anlasser für Drehstrommotoren
mit zweiphasigem Läufer.

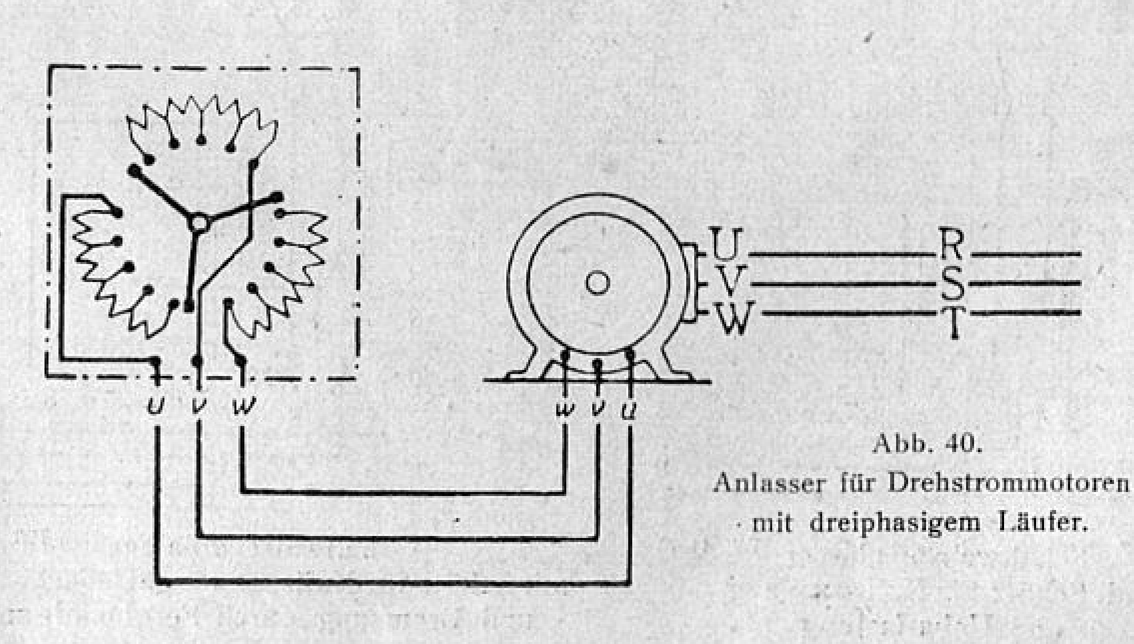
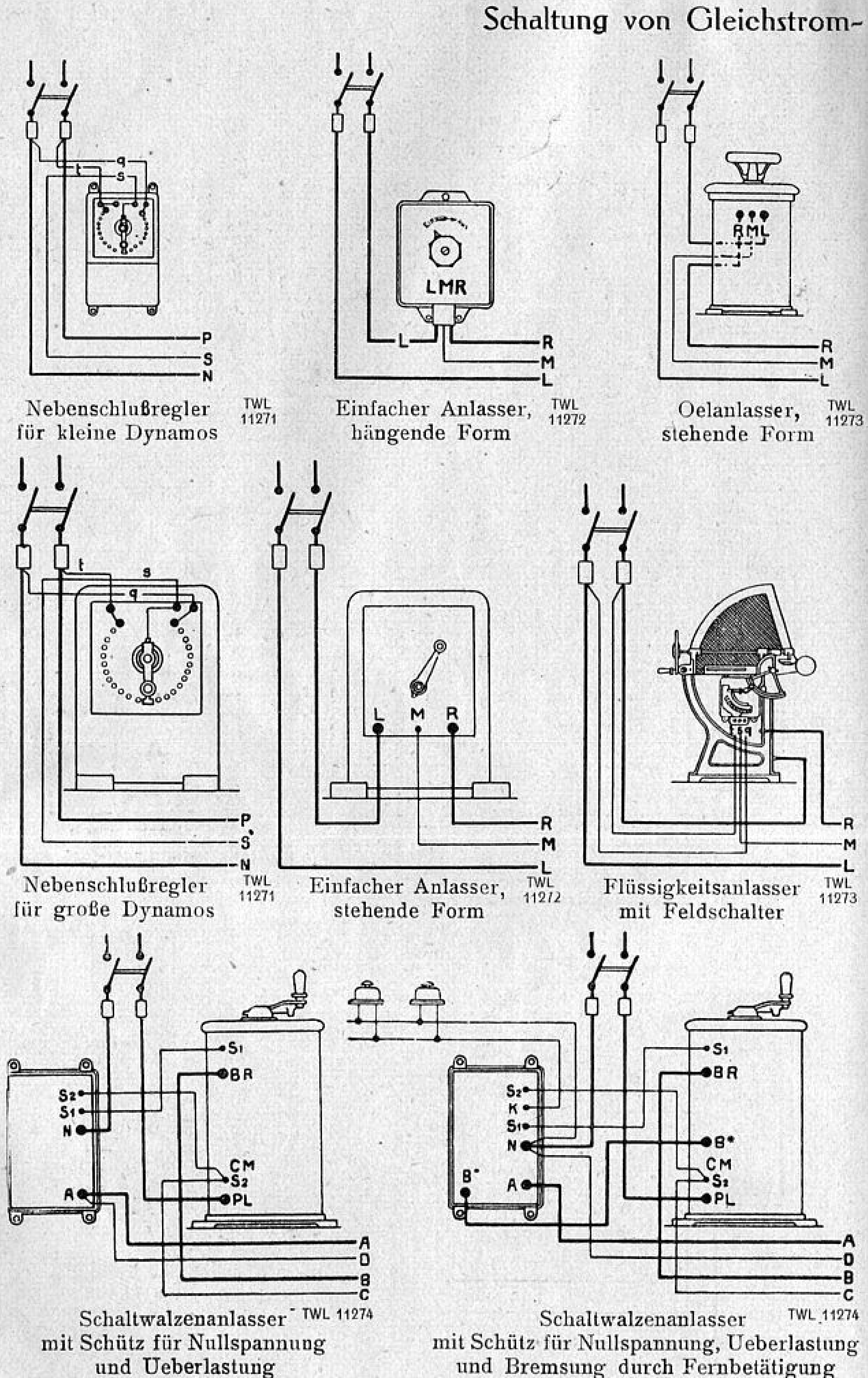


Abb. 40.
Anlasser für Drehstrommotoren
mit dreiphasigem Läufer.

VIII. Schal-

Schaltung von Gleichstrom-



Nebenschlußregler für kleine Dynamos TWL 11271

Einfacher Anlasser, hängende Form TWL 11272

Oelanlasser, stehende Form TWL 11273

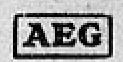
Nebenschlußregler für große Dynamos TWL 11271

Einfacher Anlasser, stehende Form TWL 11272

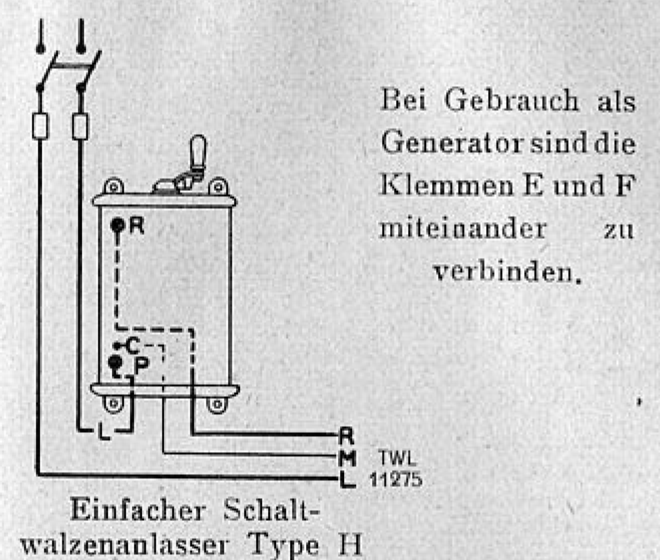
Flüssigkeitsanlasser mit Feldschalter TWL 11273

Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Nullspannung und Ueberlastung TWL 11274

Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Nullspannung, Ueberlastung und Bremsung durch Fernbetätigung TWL 11274

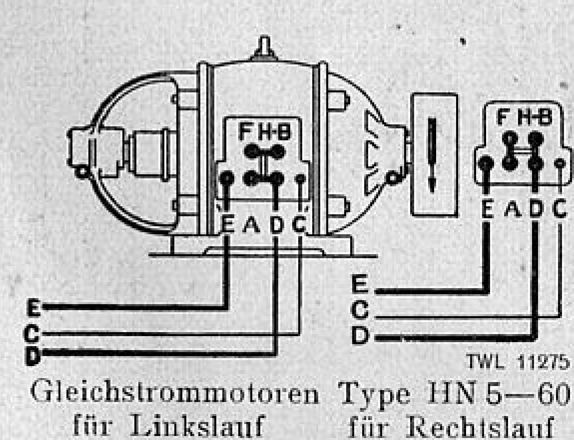


tungen.
Motoren und Anlassern

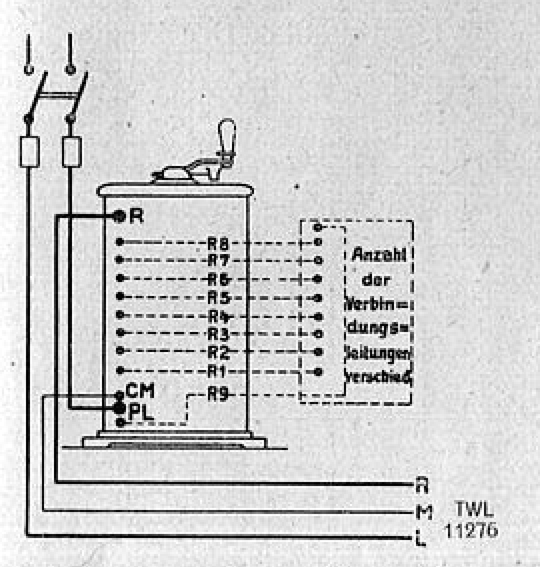


Bei Gebrauch als Generator sind die Klemmen E und F miteinander zu verbinden.

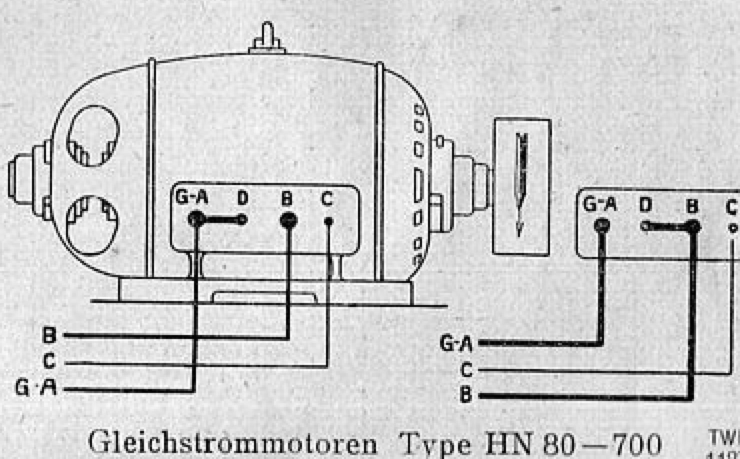
Einfacher Schaltwalzenanlasser Type H



Gleichstrommotoren Type HN 5—60
für Linkslauf für Rechtslauf



Schaltwalzenanlasser Type S mit getrennten Widerständen zur Veränderung der Drehzahl

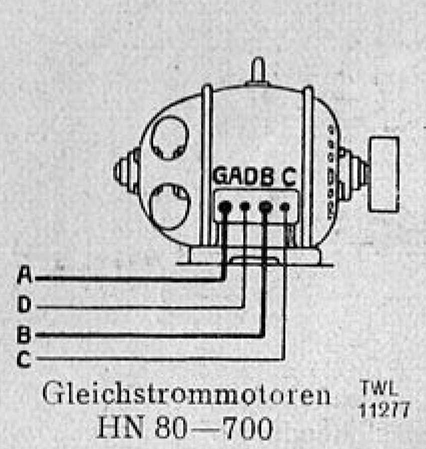


Gleichstrommotoren Type HN 80—700
für Linkslauf für Rechtslauf

TWL 11277

Schaltwalzenanlasser mit getrennten Widerständen für Umkehrung der Drehrichtung

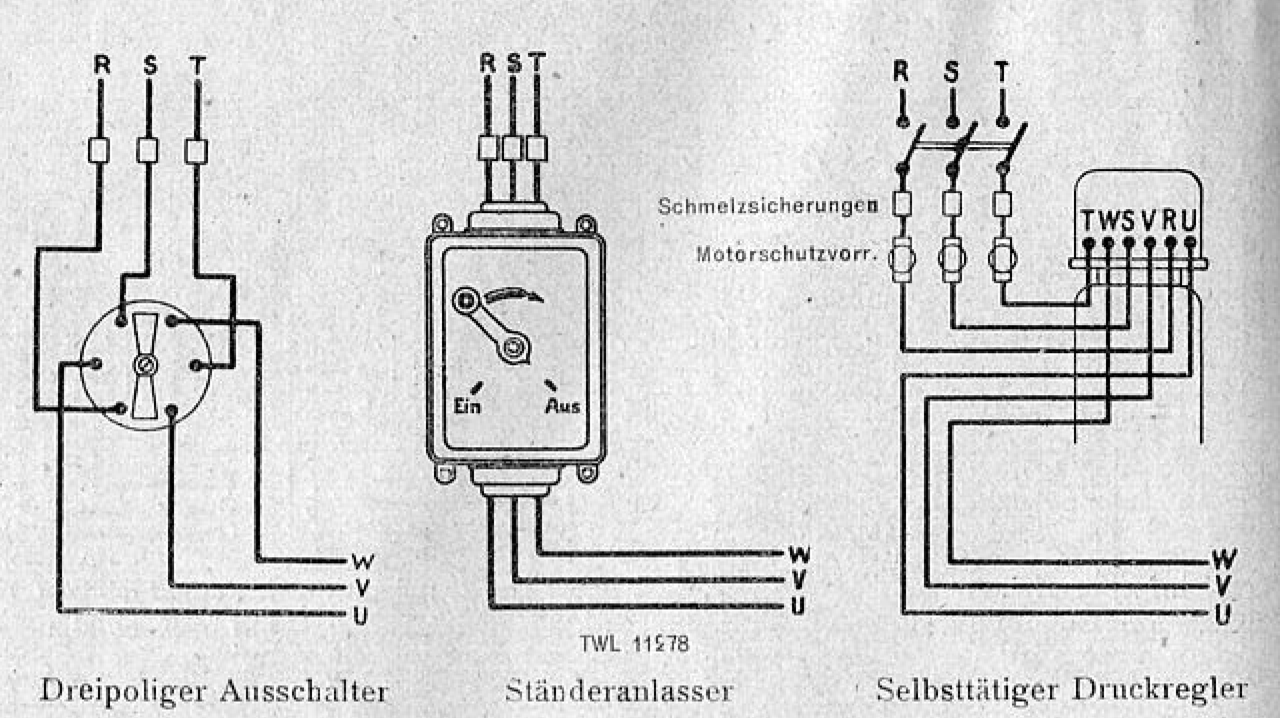
TWL 11277



Gleichstrommotoren HN 80—700

TWL 11277

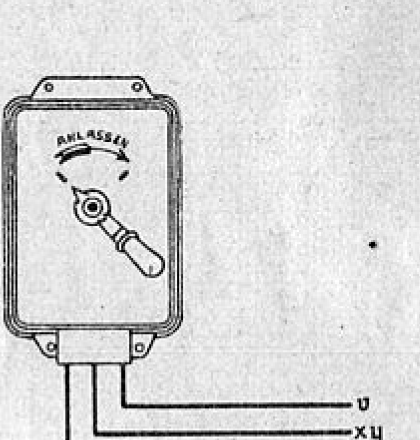
Schaltung von Drehstrom-



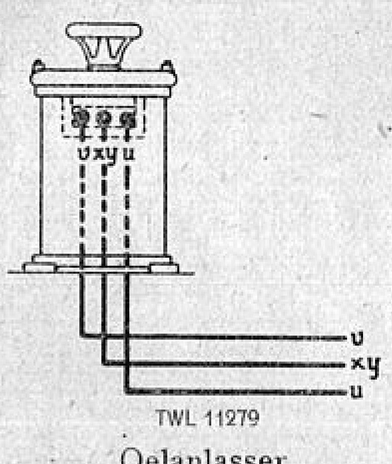
Dreipoliger Ausschalter

Ständeranlasser

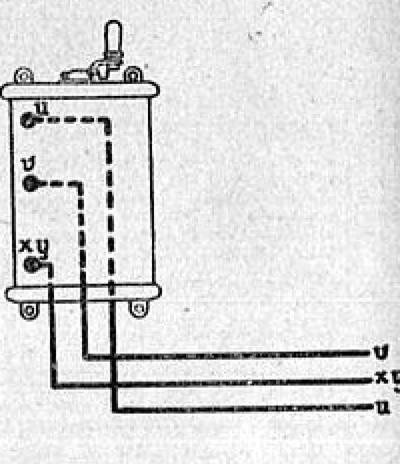
Selbsttätiger Druckregler



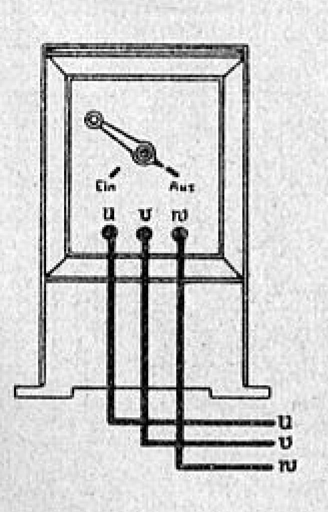
Läuferanlasser, hängende Form



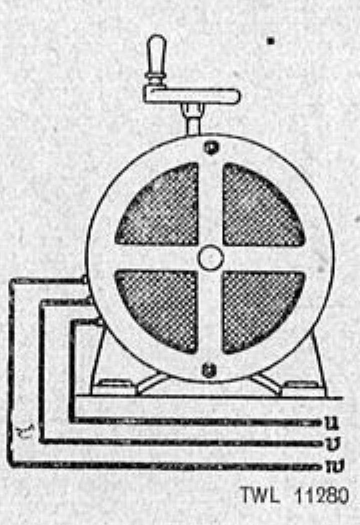
Oelanlasser, stehende Form



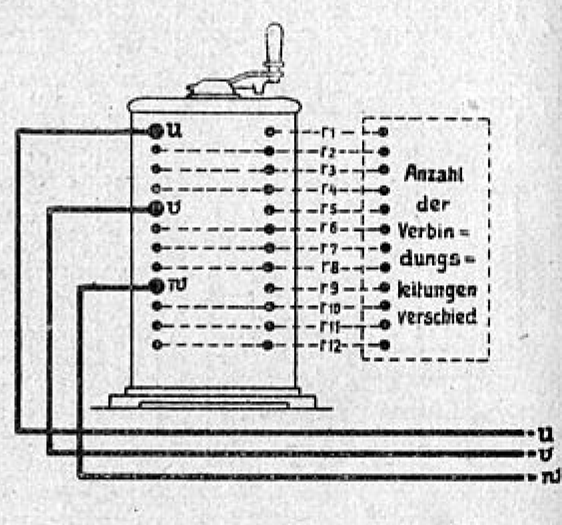
Schaltwalzenanlasser Type H



Läuferanlasser, stehende Form

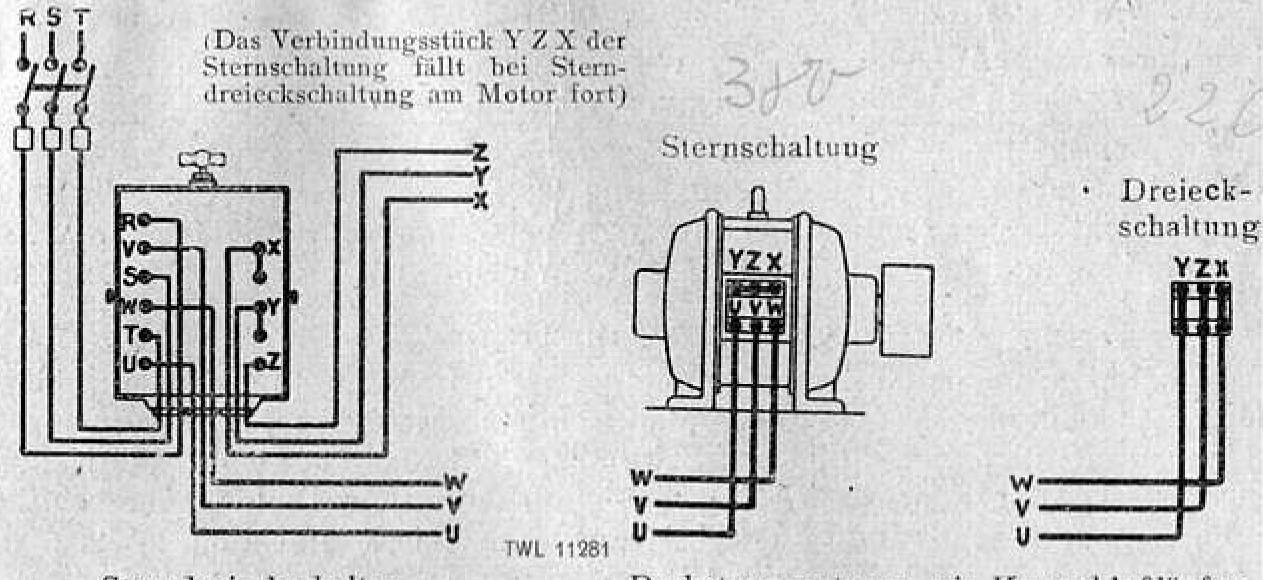


Flüssigkeits-anlasser



Schaltwalzenanlasser Type S für Verminderung der Drehzahl

Motoren und Anlassern.



Sterndreieckschalter

Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer

T
S
r
l
V
W

(Hebelschalter fällt fort Sicherung vor R S T)

R U
S V
T W
u
v
xy

Schaltwalzenanlasser mit Ständerschalter

v
xy
u

TWL 11282

R S T
U V W
YZX
UVW
v
xy
u

Drehstrommotoren mit zweiphasigem Schleifringläufer

TWSVRU
K2 S1
R
S
T
U
V
W

(Hebelschalter fällt fort Sicherung vor R S T)

R S T
U V W
T
K2
K3
u
v
w
u
v
w

UVW
u v w
u
v
w

Schaltwalzenanlasser mit Schütz für Nullspannung, Ueberlastung und Fernausschaltung

TWL 11283

Drehstrommotoren mit dreiphasigem Schleifringläufer

Bei kompensierten Motoren ist der Netzanschluß an da Läuferklemmbrett, die Anlasserleitung an das Ständer klemmbrett zu führen.

IX. Anleitung zur Inbetriebsetzung von Elektromotoren

bei der ersten Aufstellung, bei Wiederaufstellung nach einer Reparatur oder nach einer Ortsveränderung.

Man prüfe zunächst, ob der Motor mechanisch in Ordnung ist, ob die Lager mit Öl gefüllt sind, und sich die Welle und die Schmierringe leicht drehen. Bisweilen hat sich beim Transport die Lagerbuchse verschoben und klemmt den Schmierring fest.

Gleichstrommotoren.

Man prüfe die verlegten Zuleitungen auf Erdschluß und Nebenschluß (siehe „Isolationsmessungen"). Man schließe Motor und Anlasser nach dem zutreffenden Schaltbild auf Seite 322—323 an. Man wähle die Nennstromstärke der Schmelzsicherung entsprechend dem Leitungsquerschnitt und der zu erwartenden Betriebsstromstärke (siehe Leistungsschild des Motors) nach der Tabelle Seite 133. Man prüfe, ob der Bürstenhalterstern in richtiger Stellung steht (siehe Seite 303).

Nun lege man unter jede Bürste ein Stück Papier, so daß die Bürsten den Kollektor nicht berühren, dann schalte man den Hebelschalter und den Anlasser ein. Eine Prüflampe, die an zwei benachbarte Bürstenhalter angehalten wird (bei 440 V zwei in Reihe geschaltete Lampen), muß jetzt hell aufleuchten. Ein Stück Eisen, z. B. ein Schraubenschlüssel, muß von den Magnetpolen heftig angezogen werden. Zeigen sich diese Merkmale nicht, so ist der Fehler aufzusuchen und zu beseitigen. Er wird in einer Leitungsunterbrechung oder in falscher Schaltung liegen.

Ist alles in Ordnung befunden, so schalte man Anlasser und Hebelschalter aus. Erst dann entferne man die Papierunterlagen unter den Bürsten. Nun kann der Motor entsprechend den Anweisungen auf Seite 303 angelassen werden. Dabei können sich noch folgende Unregelmäßigkeiten zeigen:

I. Beobachtung:	Beim Anlassen unter Last erwärmt sich der Anlasser übermäßig; auf den letzten Stufen tritt ein großer Stromstoß oder ein Durchbrennen der Sicherung ein.
Mögl. Ursache:	Der Anlasser ist für die verlangte Anlaufleistung zu klein.
Abhilfe:	Es ist die Anlaufstromstärke zu messen, und die Anlauflast zu vermindern.
II. Beobachtung:	Der Motor zeigt anormal hohe Erwärmung.
Mögl. Ursache:	Überlastung.
Abhilfe:	Es ist mittels eines Strommessers die Belastung zu prüfen, die Belastung zu vermindern oder ein größerer Motor einzubauen. Vorher noch einmal nachsehen, ob die Erregung auch richtig geschaltet ist.
III. Beobachtung:	Die Lager werden anormal heiß.
Mögl. Ursache:	1. Zu straff gespannter Riemen. 2. Der Motor ist auf seiner Unterlage verspannt.
Abhilfe:	zu 1. Den Riemen lockern und feststellen, ob die Temperatur sinkt. zu 2. Den Motor leer ohne Riemen laufen lassen. Wenn die anormale Erwärmung anhält, die Fundamentschrauben lockern, nötigenfalls durch Zwischenlagen den Motor ausrichten.

IV. Beobachtung: Der Motor funkt bei Belastung.

Mögl. Ursache: 1. Überlastung.
2. Die Stellung des Bürstenhaltersterns ist falsch.
3. Die Wendepole sind falsch geschaltet.

Abhilfe: zu 1. Prüfung der Belastung mittels Strommessers. Die Belastung vermindern oder einen größeren Motor einbauen.
zu 2. Bei Motoren ohne Wendepole die Bürstenbrille entgegengesetzt der Drehrichtung verschieben, sofern dieselbe nicht feststehend ist. Kleinere Motoren bis ca. 5 PS mit Wendepolen haben für beide Drehrichtungen gleiche Bürstenstellung. Bei größeren Motoren mit Wendepolen ist die Bürstenbrücke im Sinne der Drehrichtung zu verschieben.
zu 3. Prüfung der Wendepolschaltung mittels Kompasses nach Abb. 4 Seite 302, nötigenfalls sind die Wendepole umzuschalten (Vorsicht).

V. Beobachtung: Der Motor läuft mit falscher Drehrichtung.

Abhilfe: Entsprechend der Schaltung auf Seite 323 das Verbindungsstück umsetzen und die Hauptleitungen vertauschen.

Drehstrommotoren.

Man prüfe die verlegten Zuleitungen auf Erdschluß und Nebenschluß (siehe „Isolationsmessungen"). Man schließe Motor und Anlasser nach dem zutreffenden Schaltbild auf Seite 324—325 an. Man stelle den Anlaufstrom fest; er ist bei Kurzschlußläufermotoren ohne Sterndreieckschalter etwa das 6fache der auf dem Leistungsschild angegebenen Normalstromstärke und bei Schleifringläufermotoren etwa gleich bis doppelt so groß wie die Nennstromstärke. Man wähle die Schmelzsicherung diesem Anlaufstrom entsprechend, überzeuge sich aber, daß die Zuleitung einen dieser Leistungsstärke entsprechenden Querschnitt hat. Dazu ist die Tabelle Seite 133 zu verwenden. Man prüfe, ob der Motor richtig in Stern- oder Dreieckschaltung angeschlossen ist (vgl. S. 307). Bei Schleifringläufermotoren müssen die Bürsten auf den Schleifringen aufliegen und der Anlasser auf „Aus" stehen. Dann wird der Schalthebel eingelegt. Der Motor muß nun ein sanftes, gleichmäßiges Brummen zeigen. Mit der Prüflampe (bei 380 V. zwei in Reihe geschaltete Lampen) ist an den drei Motorklemmen U, V, W festzustellen, ob alle drei Phasen Spannung haben. An den Klemmen des Anlassers u, v, w (dreiphasiger Läufer Abb. 40, S. 321) muß die Prüflampe zwischen je zwei Klemmen gleichmäßig aufleuchten. Bei zweiphasigem Läufer (Abb. 39, S. 321) mit den Klemmen u, x/y, v muß die Prüflampe aufleuchten, wenn sie eingeschaltet wird 1. zwischen linker und mittlerer Klemme schwach
2. „ mittlerer und rechter Klemme schwach
3. „ linker und rechter Klemme stärker.

Zeigen sich diese Merkmale nicht, so ist der Fehler aufzusuchen und zu beseitigen. Es wird in einer Leitungsunterbrechung, oder in falscher

Schaltung, oder daran liegen, daß die Bürsten auf den Schleifringen nicht gut aufliegen.

Ist alles in Ordnung befunden, so lasse man den Motor entsprechend den Anweisungen auf Seite 308 an. Dabei können sich noch folgende Unregelmäßigkeiten zeigen:

I. Beobachtung: Beim Anlassen unter Last erwärmt sich der Anlasser übermäßig; auf den letzten Stufen tritt ein großer Stromstoß oder ein Durchbrennen der Sicherung ein.
Mögl. Ursache: Der Anlasser ist für die verlangte Anlaufleistung zu klein oder er paßt für den Motor überhaupt nicht, oder der mittlere Schleifring ist bei zweiphasigem Läufer nicht mit der mittleren Anschlußklemme des Anlassers verbunden.
Abhilfe: Die Anlaufstromstärke messen, den Anlasser richtig wählen oder richtig anschließen, Anlauflast vermindern.

II. Beobachtung: Der Motor zeigt anormal hohe Erwärmung.
Mögl. Ursache: Überlastung.
Abhilfe: Mittels des Strommessers die Belastung prüfen, die Belastung vermindern oder einen größeren Motor einbauen.

III. Beobachtung: Die Lager werden anormal heiß.
Mögl. Ursache: 1. Zu straff gespannter Riemen.
2. Der Motor ist auf seiner Unterlage verspannt.
Abhilfe: zu 1. Den Riemen lockern und feststellen, ob die Temperatur sinkt.
zu 2. Den Motor leer ohne Riemen laufen lassen. Wenn die anormale Erwärmung anhält, die Fundamentschrauben lockern, nötigenfalls durch Zwischenlagen den Motor ausrichten.

IV. Beobachtung: Große Stromaufnahme bei Leerlauf. Die Ständerwicklung erwärmt sich selbst bei Leerlauf nach kurzer Zeit stark.
Mögl. Ursache: Der Ständer ist in Dreieck statt in Stern geschaltet.
Abhilfe: Die Spannung zwischen den Schleifringen bei Stillstand des Läufers messen. Zeigt dieselbe die ca. 1,7 fache Höhe der auf dem Leistungsschild angegebenen Spannung, so ist der Ständer umzuschalten.

V. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an. Bei Belastung geht die Drehzahl stark zurück.
Mögl. Ursache: 1. Der Motor ist für Dreieckschaltung bestimmt, der Ständer ist aber in Stern geschaltet.
2. Die Spannung ist zu gering.
Abhilfe: zu 1. Die Schaltung ändern (vgl. S. 307).
zu 2. Die Spannung am Motor messen und bei zu niedriger Spannung feststellen, ob der Spannungsabfall in der Leitung zu groß ist. Ist dies nicht die Ursache der niedrigen Spannung, so ist das Elektrizitätswerk zu benachrichtigen.

VI. Beobachtung: Der Motor läuft mit falscher Drehrichtung.
Abhilfe: Man vertausche die Anschlüsse der Leitungen U und V miteinander, oder man vertausche zwei Zuleitungsdrähte am Hebelschalter.

X. Anleitung
zur Beseitigung von Störungen an Elektromotoren,
welche **bis zum Eintritt der Störung normales Verhalten zeigten.**

Gleichstrommotoren.

I. Beobachtung: Der Motor läuft nicht an.

Mögl. Ursache: 1. Unterbrechung in der Zuleitung, z. B. eine Sicherung ist durchgebrannt.
2. Der Anlasser ist durchgebrannt.
3. Die Bürsten sind infolge Verschmutzung in den Haltern festgeklemmt und berühren den Kollektor nicht.

Abhilfe: zu 1. Kontrolle der Sicherungen und Ersatz der durchgebrannten. Die Bürsten vom Kollektor entfernen und den Anlasser einschalten. Mittels Prüflampe prüfen, ob an den Klemmen des Motors die volle Spannung vorhanden, gegebenenfalls die Leitungsunterbrechung beseitigen.
zu 2. Mittels Galvanoskop oder Prüflampe messen, ob der Anlasser Unterbrechung hat, nötigenfalls den Anlasser auswechseln.
zu 3. Die Bürstenhalter säubern, so daß die Bürsten sich leicht bewegen und den Kollektor berühren.

II. Beobachtung: Der Motor läuft mit Stoß an, wenn der Anlasser z. T. eingeschaltet ist. Die Kontaktbahn ist an dieser Stelle angeschmort.

Mögl. Ursache: Der Anlasser hat an der gekennzeichneten Stelle Unterbrechung.

Abhilfe: Prüfung des Anlassers mittels Galvanoskop oder Prüflampe. Nötigenfalls den Anlasser auswechseln oder die Unterbrechungsstelle überbrücken.

III. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an. Der Anlasser wird heiß und die Sicherungen brennen durch.

Mögl. Ursache: 1. Die Leitungen zwischen Anlasser und Motor haben untereinander Schluß oder Erdschluß.
2. Der Motor hat Körperschluß.
3. Der Magnetstromkreis hat Unterbrechung.
4. Die Bürstenbrücke hat eine falsche Stellung.

Abhilfe: zu 1. Die Leitungen vom Klemmbrett lösen, gegeneinander und gegen Erde prüfen (s. Isolationsmessung), und den Schluß beseitigen.
zu 2. Die Leitungen vom Klemmbrett lösen. Die Bürsten vom Kollektor entfernen, dann mittels Galvanoskop oder Prüflampe die Magnete, den Anker und die Bürstenbolzen gegen Eisen prüfen. Zeigt sich ein Körperschluß, so ist eine Reparatur des Motors nötig.
zu 3. Zwischen Bürsten und Kollektor Papier schieben, dann den Anlasser einschalten. Mittels eines Stückes Eisen prüfen, ob die Pole magnetisch sind. Weiteres siehe unter Inbetriebsetzung S. 326.

zu 4. Die Bürstenbrille auf die Marke einstellen. Ist letztere nicht vorhanden, durch Hin- und Herschieben der Bürsten die richtige Stellung ermitteln. Liegt die Ableitung der Ankerwicklung zum Kollektor außen, so findet man die richtige Bürstenstellung (neutrale Zone) wie folgt:

Man verfolgt die Ableitung derjenigen Spule, die zwischen zwei Hauptpolen steht und stellt die Bürsten auf die Kollektor-Lamelle, in die diese eingelötet ist.

IV. Beobachtung: Der Motor funkt bei Belastung. Der Kollektor wird an der ganzen Oberfläche schwarz.

Mögl. Ursache:
1. Vorstehende Lamellenisolation.
2. Ungeeignetes Bürstenmaterial.
3. Unrunder Kollektor.
4. Ausgelaufene Lager.
5. Einzelne Bürstenhalter haben sich gelöst, so daß die Bürsten den Kollektor in ungleichen Abständen berühren.
6. Der Motor ist starken Erschütterungen ausgesetzt.
7. Eine oder mehrere Magnetspulen haben Windungsschluß.-

Abhilfe:

zu 1. Vorstehende Lamellenisolation ist durch Abfühlen des Kollektors festzustellen. Nötigenfalls ist durch kräftiges Abschmirgeln mit scharfem Karborundumleinen der vorstehende Glimmer zu beseitigen und mittels eines spitz geschliffenen Stahles auszukratzen.

zu 2. Die verwendeten Kohlenbürsten können zu hart oder zu weich sein; passende Ersatzkohlen vom Erbauer des Motors beziehen.

zu 3. Den Kollektor überdrehen.

zu 4. Prüfung der Lager. Feststellen, ob die Welle im Lager in senkrechter oder in Richtung des Riemenzuges Spielraum hat. An der Kollektorseite durch Anheben mittels eines Eisens oder Schraubenziehers feststellen, ob die Welle Spielraum hat, zutreffenden Falles sind die Lager schalen auszuwechseln.

zu 5. Prüfen, ob die aufliegenden Kohlenbürsten den Kollektor in gleiche Abschnitte teilen, wenn nicht, sind die Kohlenbürsten zu versetzen.

zu 6. Prüfen, ob alle Fundamentschrauben fest angezogen sind. Ob der Motor ohne Riemen ruhig läuft. Auf eine richtige Verbindung der Riemenstoßstelle achten.

zu 7. Die Verbindungen zwischen den einzelnen Magnetspulen freilegen. Die Magnete einschalten und die Spannung der einzelnen Spulen messen. Abweichungen sollen nicht mehr als 10% betragen; die fehlerhafte Spule ist (das ist die mit zu geringer Spannung) auszuwechseln.

V. Beobachtung: Einzelne Bürsten funken stark und erhitzen sich, wogegen andere kalt bleiben.
Mögl. Ursache: Auf den untereinander verbundenen Bürstenbolzen befinden sich verschiedene Kohlensorten.
Abhilfe: Die Bürsten prüfen. Bürsten verschiedener Marken austauschen und durch solche gleicher Marke ersetzen.

VI. Beobachtung: Der Motor funkt sehr stark, an einzelnen Lamellen brennt die Isolation aus.
Mögl. Ursache: Unterbrechung in der Ankerwicklung.
Abhilfe: Feststellen, ob eine Verbindung zwischen Kollektor und Wicklung ausgelötet oder ob ein Ankerdraht hinter der Kollektorfahne abgebrochen ist. Vor Beseitigung der Unterbrechung prüfen, ob die Lamellen, zwischen denen die Isolation durchgebrannt ist, keine Verbindung haben. Ist am Kollektor eine Unterbrechungsstelle nicht zu ermitteln, so liegt dieselbe in der Wicklung.

VII. Beobachtung: Der Motor funkt, der Kollektor wird stellenweise schwarz.
Mögl. Ursache:
1. Schlechter Kontakt zwischen der Wicklung und den Lamellen bzw. deren Fahnen.
2. Schlechter Kontakt zwischen den Lamellen und den Fahnen.
3. Bei solchen Kollektoren, an denen die Ankerdrähte verschraubt sind, können sich die Schrauben gelockert haben.

Abhilfe:
zu 1. Mittels eines spitzen Eisens ist festzustellen, ob an den fraglichen Stellen die Ankerdrähte sich in den Fahnen bewegen lassen, wenn ja, läßt man sie einlöten.
zu 2. Durch leichten Schlag gegen die Fahnen prüfen, ob sich dieselben in den Lamellen bewegen, wenn ja, ist eine Reparatur des Ankers nötig.
zu 3. Prüfen, ob sich die Schrauben nachziehen lassen, wenn ja, die Schrauben anziehen.

VIII. Beobachtg.: Der Motor hat anormal hohe Stromaufnahme. Einzelne Ankerspulen erhitzen sich nach kurzer Zeit.
Mögl. Ursache: Ueberbrückung der Spulen am Kollektor.
Abhilfe: Feststellen, ob eine äußere Ueberbrückung vorliegt. Wenn nicht, ist die Lamellenisolation defekt. Reparatur ist nötig.

IX. Beobachtung: Der Motor läuft bei großer Stromaufnahme ruckweise an.
Mögl. Ursache: Die Ankerspulen haben gegeneinander Schluß.
Abhilfe: Die Bürsten abheben. Den Anlasser einschalten, so daß die Magnete voll erregt sind. Den Anker mit der Hand drehen. Bei einem Wicklungsschluß ist der Anker an zwei Punkten sehr schwer zu bewegen. Reparatur unerläßlich.

X. Beobachtung: Der Anker zeigt im ganzen anormal hohe Erwärmung.
Mögl. Ursache: Ueberlastung.
Abhilfe: Mittels Strommesser die Belastung prüfen. Die Ueberlastungsursache bei den angetriebenen Maschinen ermitteln und beseitigen.

Drehstrommotoren.

I. Beobachtung: Der Motor läuft nicht an.

Mögl. Ursache:
1. Unterbrechung in der Zuleitung, z. B. eine oder mehrere Sicherungen sind durchgebrannt.
2. Unterbrechung im Läuferstromkreis.
3. Unterbrechung im Ständerstromkreis.

Abhilfe:
zu 1. Kontrolle der Sicherungen und gegebenenfalls Ersatz der durchgebrannten.
zu 2. Messung der Spannung mittels Spannungsmessers oder Prüflampe am Klemmbrett des Motors und am Schalter. Weiteres s. Inbetriebsetzung S. 327.
zu 2. Nachspannen der Bürsten, Prüfung der Leitung zwischen Anlasser und Klemmbrett. Untersuchung, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben, ferner ob die Widerstände Unterbrechung haben. Beseitigung einer etwaigen Unterbrechung. Bei Unterbrechung im Motor ist eine Reparatur nötig.
zu 3. Nach Lösung der Zuleitung und der Schaltverbindung am Klemmbrett die einzelnen Phasen mittels Galvanoskop prüfen. Bei Unterbrechung im Motor ist eine Reparatur nötig.

II. Beobachtung: Der Motor läuft mit Stoß an, wenn der Anlasser zum Teil eingeschaltet ist. Die Kontaktbahn ist an dieser Stelle angeschmort.

Mögl. Ursache: Der Anlasser hat an der gekennzeichneten Stelle Unterbrechung.

Abhilfe: Prüfung des Anlassers mittels Galvanoskop oder Prüflampe. Erforderlichenfalls den Anlasser auswechseln oder die Unterbrechungsstelle überbrücken.

III. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an, die Drehzahl fällt bei Belastung stark ab.

Mögl. Ursache: Unterbrechung in einer Phase des Läuferstromkreises.

Abhilfe: Mittels Prüflampe feststellen, ob alle drei Schleifringe Spannung haben. Erforderlichenfalls Nachspannen der Bürsten, Prüfung der Leitung zwischen Anlasser und Klemmbrett. Untersuchen, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben, ferner, ob die Widerstände Unterbrechung haben. Die Unterbrechung gegebenenfalls beseitigen, sonst siehe II.

IV. Beobachtung: Der Motor läuft schwer an, brummt stark beim Anlauf und erhitzt sich schnell.

Mögl. Ursache: Ausgelaufene Lager. Der Läufer streift am Ständer.

Abhilfe: Prüfung der Lager. Feststellen, ob die Welle im Lager in senkrechter oder in Richtung des Riemenzuges Spielraum hat. An der Schleifringseite durch Anheben mittels eines Eisens oder Schraubenziehers feststellen, ob die Welle Spielraum hat, zutreffendenfalls sind die Lagerschalen auszuwechseln.

V. Beobachtung: Beim Einschalten des Schalters brennen eine oder mehrere Sicherungen durch.

Mögl. Ursache:

1. Die Leitungen vom Schalter zum Ständer haben Schluß miteinander.
2. Die Leitungen vom Motor zum Anlasser haben untereinander Schluß, vielleicht auch zwei Bürstenhalter gegeneinander.
3. Zwei Phasen der Ständerwicklung haben Schluß miteinander bzw. Schluß mit Eisen.
4. Die Schleifringe haben gegeneinander Schluß bzw. der Läufer hat Schluß in der Wicklung.

Abhilfe:

zu 1. Die Zuleitung vom Motor-Klemmbrett lösen, die Zuleitungen gegeneinander prüfen. Isolationsfehler beseitigen.

zu 2. Den Anlasser abklemmen. Die Bürsten durch Zwischenlegen von Papier oder Holz von den Schleifringen abheben, dann die Anlasser-Leitungen gegeneinander prüfen. Isolationsfehler beseitigen.

zu 3. Die Zuleitungen vom Motor-Klemmbrett lösen. Die Schaltstücke am Klemmbrett entfernen. Dann die einzelnen Phasen gegeneinander und gegen Eisen prüfen. Ein Schluß im Motor kann nur durch Reparatur beseitigt werden.

zu 4. Die Bürsten von den Schleifringen abheben. Den Riemen von der Scheibe entfernen. Den Ständer einschalten. Der Motor läuft alsdann leer an. Meist nur durch Reparatur zu beheben.

VI. Beobachtung: Motor brummt sehr stark bei großer Stromaufnahme.

Mögl. Ursache: Eine Phase der Ständerwicklung hat Windungsschluß.

Abhilfe: Durch Anfühlen der Wicklung feststellen, ob ungleiche Erwärmung der Wicklung vorhanden. Die kurzgeschlossenen Windungen erhitzen sich nach kurzer Zeit sehr stark. Neuwicklung des Motors erforderlich.

VII. Beobachtung: Der Zeiger des in der Zuleitung des Motors eingebauten Strommessers pendelt bei konstanter Belastung stark hin und her.

Mögl. Ursache: Schlechter Kontakt im Läuferstromkreis.

Abhilfe: Alle Anschlußschrauben gut anziehen. Prüfen, ob die Schleiffedern am Anlasser guten Kontakt geben. Bei Bürsten-Abhebevorrichtungen die Verbindung zwischen den Kurzschlußfedern und dem Kurzschlußring prüfen und sorgfältig wieder herstellen.

VIII. Beobachtung: Anormal hohe Erwärmung des Motors.
Mögl. Ursache: Ueberlastung.
Abhilfe: Mittels des Strommessers die Belastung prüfen. Bei Ueberlastung die angetriebene Maschine prüfen. Den Grund der Ueberlastung beseitigen.

Außerdem können an Drehstrommotoren mit Kurzschlußläufer folgende Fehler auftreten:

IX. Beobachtung: Beim Anlassen mit Sterndreieck-Schalter läuft der Motor in der Anlaufschaltung nicht an.
Mögl. Ursache: Die Schaltfinger im Anlaßschalter haben Brandstellen.
Abhilfe: Prüfung des Sterndreieck-Schalters. Gegebenenfalls Ersatz der angebrannten Schaltfinger.

X. Beobachtung: Wird der Sterndreieck-Schalter auf Arbeit geschaltet, so läuft der Motor zwar an, läßt aber bei Belastung stark in der Drehzahl nach.
Mögl. Ursache: 1. Läuferstäbe sind ausgelötet.
2. Zu große Belastung.
Abhilfe: zu 1. Eine Besichtigung des Motors zeigt fortgespritzte Zinnteilchen. Reparatur erforderlich.
zu 2. Die Belastung durch den Strommesser prüfen. Gegebenenfalls ist die Belastung zu vermindern oder ein größerer Motor einzubauen.

XI. Riemen.

Riemenmaterial.

Lederriemen, aus Ochsen- oder Rinderhäuten gewonnen, haben sich in der Praxis als das beste Uebertragungsmittel erwiesen. Durch lohgare Grubengerbung wird ein Riemenmaterial von hoher Elastizität gewonnen. Man unterscheidet:

Werkzeugmaschinenriemen,
Motor- und Spannrollenriemen.

Während erstere aus einzelnen Bahnen der Haut in der Nähe der Wirbelbahn (die Wirbelsäule des Tieres als Lederbahn gedacht) aus Kernleder bestehen, werden Motor- und Spannrollenriemen nur aus den Wirbelbahnen gewonnen; außerdem werden für solche hochwertige Riemen von erstklassigen Firmen nur ausgewählte, feinfasige Häute besonderer Gerbung verwendet. Ein guter Lederriemen, sachgemäß aus naßgestreckten und unter Spannung getrockneten Bahnen zusammengesetzt, läuft nach dem Verlassen der Einlaufmaschine schnurgerade und zeigt keine seitlichen Ausbuchtungen. Die Stärke des einfachen Riemens soll nicht mehr als 5 mm betragen, die Breite sollte 600 mm nicht überschreiten, da die Seiten des Riemens mehr nachgeben als die Mitte, und somit in kurzer Zeit keine Kraft mehr übertragen. Ferner sollte die Riemenbreite in der Regel nicht breiter als der Durchmesser der kleinsten Scheibe des Antriebes gewählt werden.

Doppelriemen werden heute in vollendeter Form von einzelnen Firmen hergestellt, indem sie aus verschieden gelagerten Wirbelbahnen angefertigt werden, so daß im ganzen Riemenquerschnitt eine gleichmäßige

Belastung eintritt. Doppelriemen übertragen etwa das $1\frac{1}{2}$-fache eines Einfachriemens. Da sie weniger biegsam sind, kommen sie erst bei einem Scheibendurchmesser von mindestens 450 mm in Frage. Die Breite des Doppelriemens ist beliebig.

Für die Berechnung der Riemenbreite können, normale Verhältnisse vorausgesetzt, die nachfolgenden Tabellen angewendet werden, jedoch sollte jeder Antrieb individuell behandelt werden. Man hole daher in anormalen und schwierigen Fällen Vorschläge vom Riemenfabrikanten unter Bekanntgabe der Antriebsverhältnisse ein. Bei senkrechten Trieben, bei stoßweiser Belastung, kleinem Wellenabstand sind die Riemen entsprechend breiter zu wählen.

Riemenverbindungen.

Die beste und zweckmäßigste Verbindung der einzelnen Riemenenden untereinander ist das Verleimen. Hierzu werden die beiden Enden auf 15—20 cm gut abgeschrägt und die abgeschrägten Flächen aufgerauht, damit der Leim besser haftet. Zum Leimen verwende man einen dünnflüssigen aber kräftigen säure- und fettfreien Spezialleim bester Qualität. Vor dem Auftragen des Leimes sind die schrägen Stoßflächen zweckmäßig durch mäßig erwärmte Holzbretter, die darübergelegt, durch Schraubenzwingen festgehalten werden, vorzuwärmen. Hierauf werden die Schraubenzwingen und Holzbretter wieder entfernt und die schrägen Flächen möglichst rasch in nicht zu dicker Schicht mit heißem Leim bestrichen. Alsdann sind die Holzbretter wieder beiderseitig aufzulegen und mit den Schraubenzwingen anzupressen. In warmen Räumen trocknet die Leimstelle in ca. 3—4 Stunden. Mit der Belastung des Riemens ist jedoch noch einige Stunden zu warten. Auf eine saubere Ausführung der Stoßstellen ist besonders Wert zu legen und darauf zu achten, daß die Leimstelle nicht dicker wird als der Riemen selbst. Bei dem Auflegen des Riemens auf die Scheiben ist ferner auf die Drehrichtung zu achten und der Riemen so aufzulegen, daß die Verbindungsstelle nicht gegen den Scheibenkranz läuft.

Behandlung und Pflege des Riemens.

Beim Gleiten des Riemens vermeide man die Anwendung des Kolofoniums sowie aller harzigen Stoffe, sondern trage etwas Rindertalg auf die Laufseite des Riemens auf. Der dann anfänglich eintretende größere Schlupf wird bald geringer werden, da der Riemen den Talg schnell aufnimmt, dadurch anschwillt und sich kürzt, worauf ein besseres Durchziehen eintreten wird. Zur Unterhaltung und Pflege reinige man den Riemen von Zeit zu Zeit durch Abwaschen oder Abbürsten mit warmem Wasser, reibe den Riemen trocken und fette ihn mit Rindertalg am besten auf beiden Seiten ein.

XII. Riementriebe.

Allgemeines.

Beim Entwurf von Riementrieben ist zu unterscheiden, ob man einen gewöhnlichen oder ein Spannrollentrieb verwenden will. Bei dem gewöhnlichen offenen Riementrieb ist man hinsichtlich der Drehzahl der Motoren wesentlich beschränkt, da das **Uebersetzungsverhältnis,** d. i. das

Verhältnis der größeren zur kleineren Drehzahl, nicht zu groß werden darf. Seine Größe wird beeinflußt vom Achsenabstand, von der Lage des Riementriebes (wagerecht, senkrecht) und in geringem Maße von der Drehrichtung (unteres oder oberes Trum ziehend). Ueber Auswahl des Uebersetzungsverhältnisses siehe weiter unten. Ergibt die Anordnung (Drehzahl der angetriebenen Welle, Größe der Riemenscheibe) eine unzulässig kleine Riemenscheibe am Motor, so muß ein solcher mit passender geringerer Drehzahl gewählt oder ein **Riemenvorgelege** angeordnet werden. Beim Einbau einer Spannrolle fallen diese Einschränkungen fort, da große Uebersetzungen gewählt werden können. Beim gewöhnlichen Trieb sind alle Riemenscheiben ballig zu drehen und gut auszubalancieren.

Die Berechnung der Riemenscheibendurchmesser erfolgt nach der Formel:

$$D = \frac{d \times n}{N}$$ worin bedeutet:

D = Durchmesser der größeren (langsamer laufenden) Scheibe.
N = Drehzahl der größeren (langsamer laufenden) Scheibe.
d = Durchmesser der kleineren (schneller laufenden) Scheibe.
n = Drehzahl der kleineren (schneller laufenden) Scheibe.

Zur Berücksichtigung des Riemenschlupfes ist bei der Errechnung des Durchmessers einer getriebenen Scheibe ein Abzug,
einer treibenden Scheibe ein Zuschlag
zu dem errechneten Durchmesser zu machen. Dieser Abzug bzw. Zuschlag beträgt bei offenen Riementrieben je nach dem Durchmesser und umspannten Bogen der kleinen Scheibe $1-3\%$ und bei Spannrollentrieben 1%.

Der Durchmesser der kleineren Scheibe.

Je größer dieser Durchmesser, desto besser der Trieb, da die für die Uebertragung sich ergebende Umfangskraft um so geringer ist, je größer die Scheibe genommen wird. Bei einer kleinen Scheibe ist die Reibungsfläche außerdem gering, besonders wenn Steifigkeit des Riemens ein glattes Anlegen verhindert. Es muß daher in solchen Fällen beim offenen Trieb dem Riemen eine erhebliche Vorspannung gegeben werden, um ein Rutschen nach Möglichkeit zu vermeiden. Sie hat eine erhöhte Lagerbelastung und damit oft heiße Lager zur Folge.

Kleinste und größte Riemenscheibendurchmesser in mm.

Drehzahl in der Minute	Bei einer Kraftübertragung von PS													
	1/2		1		2		5		10		15		20	
	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als	nicht kleiner als	nicht größer als
200	90	1725	110	1925	140	2125	200	2350	265	2500	340	2700	380	2850
300	80	1150	100	1250	125	1425	185	1575	255	1675	320	1800	360	1900
400	75	855	95	960	115	1060	170	1075	240	1250	300	1350	340	1420
750	65	460	80	500	100	570	145	730	200	670	245	720	275	760
1000	60	345	75	385	90	425	130	470	180	500	215	540	240	570
1250	55	275	70	310	80	340	120	375	160	400	185	430	220	460
1500	50	230	60	250	75	285	110	315	150	335	170	360	200	380

Die in der Preisliste als kleinstzulässig angegebenen Riemenscheibendurchmesser der Elektromotoren sind keinesfalls zu unterschreiten.

Bemessung des umspannten Bogens.

Achsenabstand.

Kleinstzulässiger Achsenabstand in m,
abhängig vom Durchmesser der Riemenscheiben.

Durchm. d. kleineren Scheibe mm	Durchmesser der größeren Scheibe in mm										
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200
50	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	1,9	2,2	2,4	2,75	2,90
100	—	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,50	2,75
150	—	—	0,6	0,8	1,1	1,30	1,6	1,9	2,1	2,4	2,6
200	—	—	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25	2,50
250	—	—	—	0,6	0,9	1,10	1,3	1,6	1,9	2,1	2,4
300	—	—	—	0,5	0,75	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0	2,25
350	—	—	—	—	0,70	0,9	1,1	1,4	1,6	1,9	2,1
400	—	—	—	—	0,6	0,8	1,0	1,25	1,5	1,75	2,0
450	—	—	—	—	—	0,75	0,9	1,1	1,4	1,6	1,9
500	—	—	—	—	—	0,7	0,9	1,0	1,25	1,5	1,75

Höchstzulässiger Achsenabstand,
abhängig von der Riemenbreite.

Für eine Riemenbreite von cm	6	8	10	12	14	16	18	20
soll der Achsenabstand nicht mehr betragen als m	5,2	5,6	6,0	6,4	6,8	7,2	7,6	8,0

Normaler Achsenabstand in m.
Der normale Achsenabstand ist von den Durchmessern der Riemenscheiben und von der Breite der Riemen abhängig.

Unterschied der Scheibendurchmesser mm	Riemenbreite in cm							
	6	8	10	12	14	16	18	20
400	3,1	3,3	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5
500	3,2	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6
600	3,4	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8
700	3,5	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9
800	3,6	3,8	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0
900	3,7	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1
1000	3,9	4,1	4,3	4,5	4,7	4,9	5,1	5,3
1100	4,0	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4
1200	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6
1400	4,4	4,6	4,8	5,0	5,2	5,4	5,6	5,8

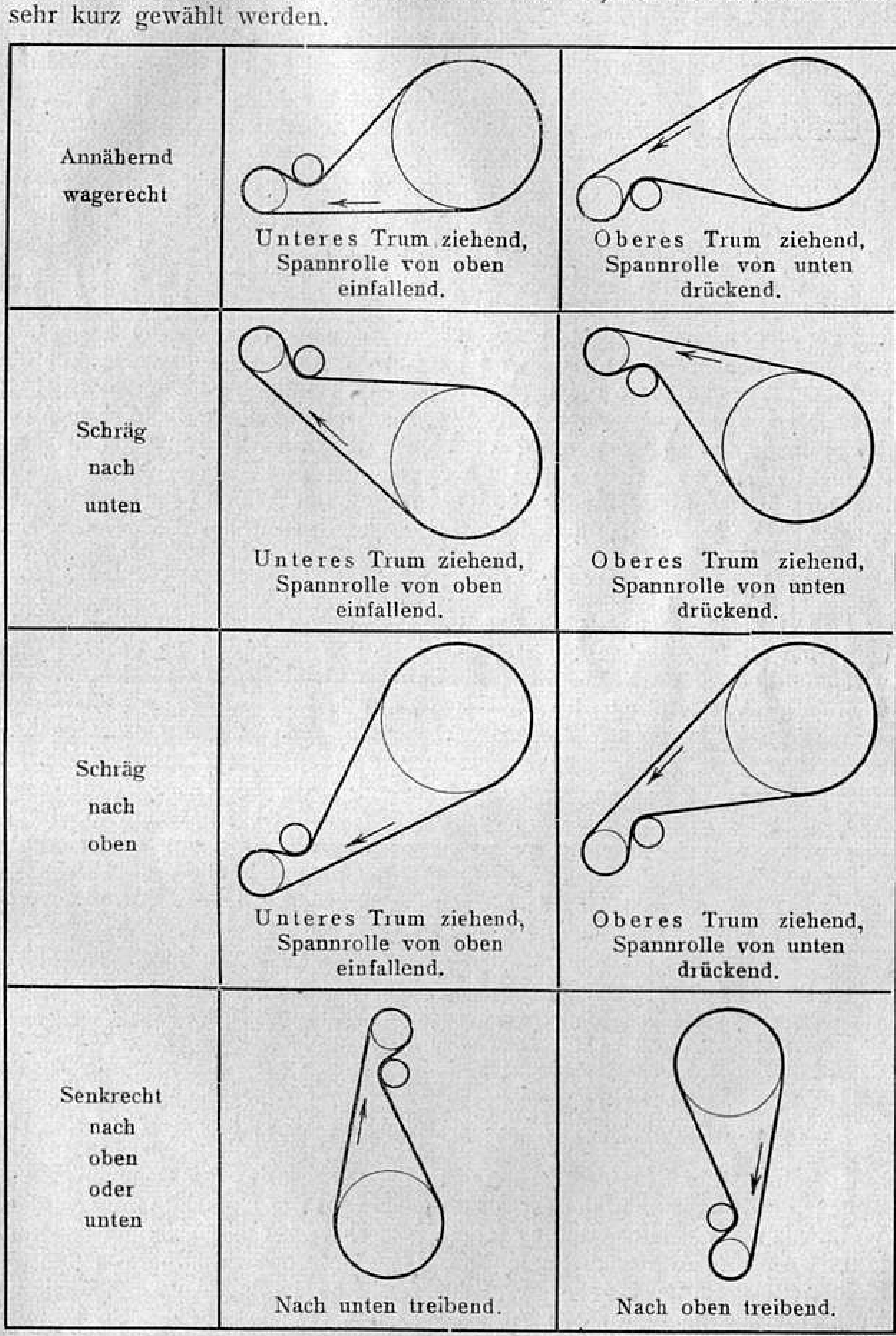
Wahl des Uebersetzungsverhältnisses bei offenen Riementrieben.

Anordnung des Antriebes	Höchstzulässiges Uebersetzungsverhältnis bei					
	höchstzulässigem	normalem	kleinstzulässigem	höchstzulässigem	normalem	kleinstzulässigem
	Achsenabstand:			Achsenabstand:		
Annähernd wagerecht	Unteres Trum ziehend			Oberes Trum ziehend		
	10 : 1	8 : 1	6 : 1	7 : 1	6 : 1	5 : 1
Schräg nach unten	Unteres Trum ziehend			Oberes Trum ziehend		
	8 : 1	6,5 : 1	5 : 1	5 : 1	4.5 : 1	4 : 1
Schräg nach oben	Unteres Trum ziehend			Oberes Trum ziehend		
	7 : 1	6 : 1	5 : 1	5 : 1	4,5 : 1	4 : 1
Senkrecht nach oben oder unten	Nach unten treibend			Nach oben treibend		
	6 : 1	5 : 1	4 : 1	5 : 1	4 : 1	3 : 1

K 1431

Anordnung von Spannrollentrieben.

Die Spannrolle liegt stets im gezogenen (spannungslosen) Riementrum. Bei Spannrollentrieben mit großem Uebersetzungsverhältnis, also bei den meisten Elektromotor- und Generatorantrieben, kann der Achsenabstand sehr kurz gewählt werden.



K 1432

Anordnung des Triebes.

Grundsatz: Bei offenen Trieben möglichst beide Achsen in gleiche Höhe setzen, unteres Trum treiben lassen. Treibt der Riemen schräg nach unten, so muß ganz besonderer Wert darauf gelegt werden, daß das untere Trum zieht. Die Anordnung „beide Wellen untereinander" soll möglichst vermieden werden, vor allem, wenn die kleinere, treibende Scheibe unterhalb der größeren, getriebenen sich befindet. Lassen sich örtlicher Umstände wegen derartige ungünstige Anordnungen nicht umgehen, so soll der Riementrieb durch Anwendung einer Spannrolle verbessert werden.

Bemessung der Riemenspannung.

Je geringer die Spannung, mit der man auskommt, um so günstiger ist die Kraftübertragung.

Jeder Riemen muß etwas angespannt sein, sonst kann er nicht ziehen. Derjenige Riemen wird den geringeren Kraftverlust verursachen, der mit der geringsten Spannung gut durchzieht; er wird zugleich die Lager am wenigsten beanspruchen. Daher ist die Anordnung die günstigste, die die geringste Vorspannung zur Erzielung der notwendigen Reibung nötig hat.

Man verwende daher stets Spannvorrichtungen, die das Einstellen des günstigsten Riemenzuges zulassen; das sind Spannschienen und Riemenwippen. Letztere sind für wagerechten und senkrechten Riemenzug und für Montage am Fußboden und an der Wand verschieden ausgeführt. Die beste Spannvorrichtung ist die Spannrolle.

Gestaltung der Spannrollentriebe.

Die besonderen Vorteile der Riemenspannrolle liegen in der Möglichkeit, den Riemenantrieb auch da noch zur Anwendung zu bringen und wirtschaftlich zu gestalten, wo ein offener Antrieb für unzulässig gehalten wird. Bei Verwendung der Riemenspannrolle fällt infolge der kleineren Vorspannung die Gesamtspannung des Riemens kleiner aus, so daß bei gleicher Gesamtspannung die Nutzspannung entsprechend erhöht werden kann. Dieser Vorteil gegenüber dem offenen Trieb wird erreicht durch eine in das lose Riementrum unmittelbar vor der kleinen Scheibe des Triebes schwingend angeordnete Rolle (Abb. 41). Diese, mit einem Gewichtshebel belastet, regelt die Riemenspannung entsprechend der Riemendehnung. Je größer die mit der Beanspruchung wachsende Riemendehnung ist, desto größer ist der Umschlingungswinkel. Wenn also nur kleine Riemenscheibendurchmesser angewendet werden können, wenn Achsenabstände oder Uebersetzungsverhältnisse einen zu kleinen umspannten Bogen der Riemenscheibe bedingen, wenn örtliche Verhältnisse eine ungünstige Anordnung des Triebes ergeben, so können

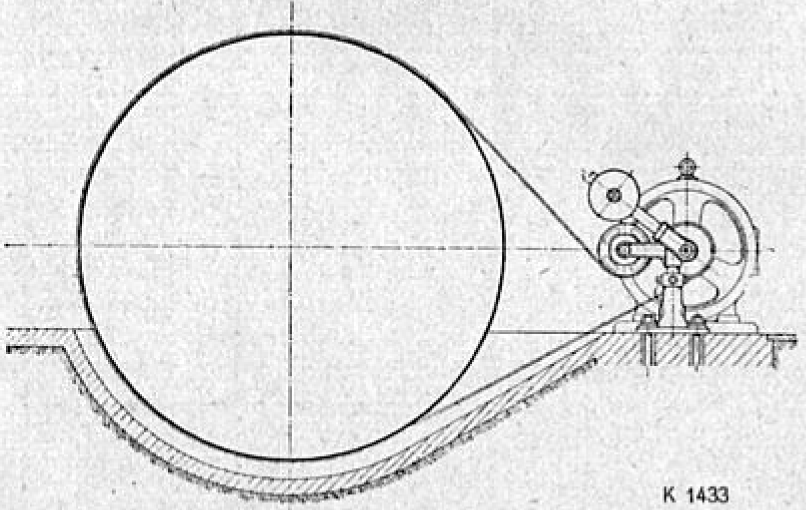


Abb. 41. Verbesserung eines an sich ungünstigen Riementriebes durch Anwendung einer Spannrolle. (S. auch Abb. 54 auf S. 353.)

durch Anwendung einer Spannrolle die Betriebsverhältnisse außerordentlich verbessert werden.

Spannrollen ermöglichen die Verminderung des Achsenabstandes unter Umständen bis auf den Durchmesser der großen Riemenscheibe, sie erlauben eine Vergrößerung des Uebersetzungsverhältnisses bis etwa 1:20, und gestatten oft die Verwendung eines schmaleren Riemens.

Für Riemenbreiten bis 300 mm werden meist einarmige Konstruktionen mit fliegend angeordneten Spannrollen (Abb. 42) verwendet, die

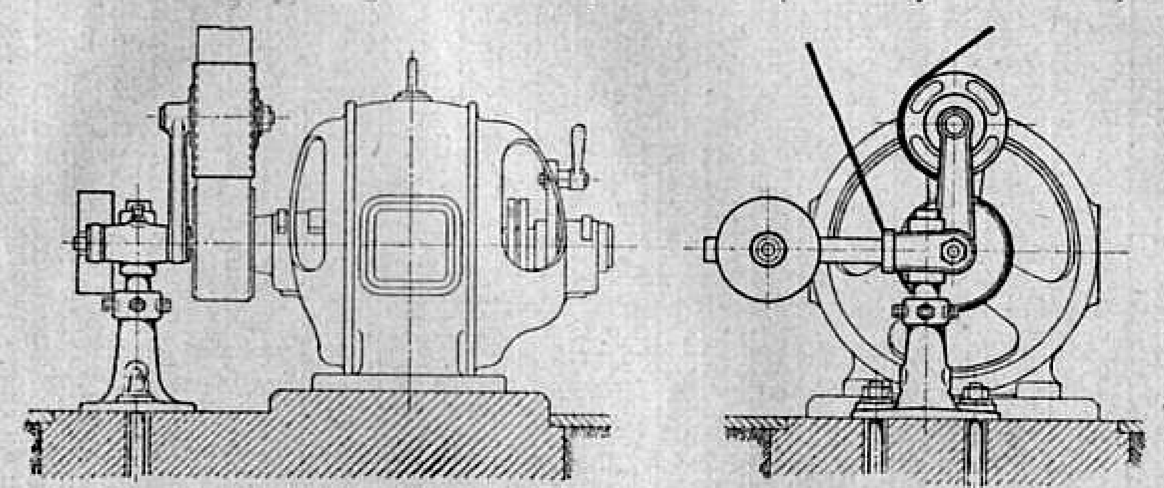


Abb. 42. Anordnung einer einarmigen Spannrolle. K 1434

ein bequemes Auflegen und Abnehmen des Riemens gestatten. Für breitere Riemen kommen doppelarmige Konstruktionen in Frage. Je nachdem das schlaffe Riementrum oben oder unten liegt, wird die Rolle von oben oder von unten gegen das schlaffe Trum drückend angeordnet, wobei verstellbare Laufgewichte oder an Drahtseilzügen wirkende Belastungsgewichte die Riemenspannung selbsttätig regeln.

Für Antriebe von Generatoren und Motoren mit drei Lagern kann die Spannrolle mit Schnaufen an den beiden Lagern zu beiden Seiten der Riemenscheibe angeordnet werden, wobei eine genaue zentrische Bewegung der Spannrolle um die Wellenmitte der Generator- oder Motorscheibe erreicht wird. Bei Antrieben mit stoßweiser Belastung sind zur Beruhigung der Bewegungen der Spannrolle Schwingungsdämpfer anzuordnen, welche die bei plötzlichen Belastungsschwankungen auftretenden Schwingungen des Riemens und der Spannrolle aufnehmen und mildern (Abb. 43). Sie dienen auch als Sicherheitsvorkehrung, indem sie ein Emporschnellen der Spannrolle bzw. ein Herabfallen bei Reißen des Riemens verhindern.

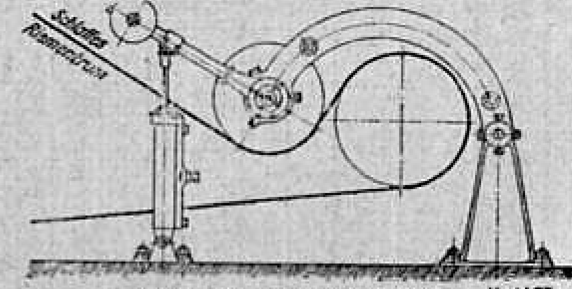


Abb. 43. Doppelarmige Spannrolle mit Schwingungsdämpfer. K 1435

Für Spannrollenantriebe verwende man nur Spezialriemen erster Firmen.

Als Anhalt für die Riemenstärke dienen folgende Angaben:

bis 100 mm Scheibendurchmesser = 3 mm Dicke,
„ 150 „ „ = 3,5—4 mm Dicke,
„ 200 „ „ = 4,5 mm Dicke,
„ 250 „ „ = 5 „ „

Stärkere Riemen sollten nicht gewählt werden, da sie meist künstlich aufgeschwemmt sind und schneller verschleißen als dünne, gut ausgewaschene und gestreckte Riemen.

Bemessung der Riemenbreite.

Für Einfachriemen bei offenen Riementrieben.

Anzahl der von je 1 cm Riemenbreite zu übertragenden PS bei offenen Riementrieben

Durchm. der kleinen Riemenscheibe in mm	Drehzahl in einer Minute																		
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
50	*	*	*	*	*	*	*	0,07	0,07	0,08	0,08	0,09	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,16
75	*	*	*	*	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26
100	*	*	*	0,08	0,11	0,13	0,15	0,17	0,19	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32	0,34	0,37	0,40
125	*	*	0,09	0,12	0,16	0,19	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32	0,35	0,38	0,41	0,45	0,48	0,51	0,54	0,58
150	*	0,09	0,12	0,16	0,20	0,24	0,28	0,33	0,37	0,41	0,45	0,50	0,54	0,60	0,64	0,70	0,74	0,80	0,84
175	0,08	0,12	0,16	0,20	0,26	0,32	0,38	0,44	0,50	0,56	0,62	0,68	0,74	0,81	0,88	0,95	1,03	1,10	1,18
200	0,10	0,15	0,20	0,25	0,33	0,41	0,49	0,58	0,66	0,75	0,83	0,92	1,01	1,10	1,20	1,30	1,40	1,50	1,60
225	0,12	0,18	0,24	0,31	0,40	0,50	0,60	0,70	0,81	0,92	1,03	1,14	1,27	1,40	1,55	1,70	1,85	2,00	**
250	0,14	0,21	0,30	0,38	0,50	0,62	0,75	0,88	1,00	1,13	1,29	1,45	1,62	1,80	1,99	2,20	**	**	**
275	0,16	0,26	0,36	0,46	0,60	0,75	0,92	1,09	1,26	1,44	1,62	1,80	2,00	2,20	2,41	**	**	**	**
300	0,18	0,30	0,42	0,55	0,73	0,92	1,12	1,33	1,54	1,75	1,96	2,18	2,40	2,60	**	**	**	**	**
325	0,21	0,36	0,50	0,65	0,85	1,06	1,28	1,53	1,78	2,03	2,28	2,53	2,78	**	**	**	**	**	**
350	0,24	0,42	0,59	0,76	0,98	1,20	1,47	1,76	2,05	2,35	2,68	3,03	**	**	**	**	**	**	**
375	0,28	0,47	0,67	0,87	1,12	1,37	1,67	2,00	2,32	2,67	3,02	**	**	**	**	**	**	**	**
400	0,33	0,55	0,77	1,00	1,28	1,58	1,88	2,25	2,63	3,00	3,38	**	**	**	**	**	**	**	**
425	0,38	0,61	0,86	1,13	1,40	1,73	2,07	2,48	2,91	3,25	**	**	**	**	**	**	**	**	**
450	0,42	0,68	0,95	1,25	1,55	1,89	2,30	2,73	3,20	3,78	**	**	**	**	**	**	**	**	**
475	0,46	0,75	1,05	1,37	1,70	2,08	2,52	3,00	3,58	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
500	0,50	0,83	1,15	1,50	1,86	2,30	2,75	3,30	3,93	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
525	0,53	0,89	1,24	1,63	2,03	2,50	3,00	3,63	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
550	0,56	0,95	1,32	1,73	2,20	2,68	3,25	3,95	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
575	0,60	1,00	1,42	1,86	2,35	2,90	3,55	4,25	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
600	0,64	1,06	1,51	2,00	2,50	3,13	3,83	4,57	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

* Zu kleine Durchmesser. ** Zu hohe Geschwindigkeiten.

Für Einfachriemen bei Spannrollentrieben.

Anzahl der von je 1 cm Riemenbreite zu übertragenden PS bei Spannrollentrieben

Durchm. der kleinen Riemenscheibe in mm	Drehzahl in einer Minute																		
	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
75	*	*	*	*	0,10	0.13	0.15	0,17	0,19	0.21	0,23	0,26	0.28	0,31	0,34	0,37	0,39	0.42	0,45
100	*	*	0,10	0,14	0,17	0,20	0,22	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40	0,43	0,48	0,52	0,57	0,61	0,65
125	*	*	0,16	0,18	0,22	0,26	0,30	0,34	0,38	0,43	0,48	0,53	0,59	0,64	0,70	0,76	0,83	0,90	0,97
150	*	0,16	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40	0,47	0,53	0,60	0,67	0,76	0,84	0,92	1,01	1,11	1,20	1,30	1,40
175	0,15	0,21	0,26	0,32	0,38	0,45	0,53	0,62	0,71	0,80	0,90	1,00	1,12	1,24	1,35	1,47	1,60	1,72	1,85
200	0,20	0,25	0,32	0,40	0,48	0,58	0,68	0,80	0,94	1,06	1,20	1,34	1,48	1,62	1,78	1,93	2,08	2,26	2,42
225	0,22	0,29	0,36	0,46	0,56	0,66	0,81	0,96	1,10	1,26	1,42	1,60	1,78	1,96	2,16	2,36	2,55	2,74	2,95
250	0,26	0,36	0,46	0,58	0,72	0,84	1,02	1,20	1,38	1,56	1,75	1,96	2,17	2,38	2,60	2,83	3,06	3,30	3,52
275	0,28	0,42	0,56	0,72	0,89	1,07	1,26	1,44	1,64	1,90	2,14	2,38	2,60	2,84	3,12	3,35	3,60	3,84	4,08
300	0,35	0,50	0,70	0,90	1,10	1,30	1,55	1,75	2,00	2,30	2,55	2,88	3,15	3,45	3,90	4,10	4,40	**	**
325	0,40	0,56	0,76	0,98	1,20	1,44	1,70	1,97	2,25	2,57	2,87	3,21	3,54	3,82	4,10	4,27	**	**	**
350	0,43	0,61	0,83	1,06	1,32	1,59	1,88	2,21	2,57	2,95	3,23	3,60	3,93	4,25	4,49	**	**	**	**
375	0,46	0,67	0,92	1,17	1,43	1,77	2,12	2,55	3,00	3,31	3,67	4,05	4,43	**	**	**	**	**	**
400	0,50	0,75	1,05	1,30	1,70	2,10	2,50	2,95	3,40	3,90	4,30	4,75	5,20	**	**	**	**	**	**
425	0,60	0,87	1,17	1,52	1,90	2,30	2,75	3,25	3,75	4,22	4,70	5,10	**	**	**	**	**	**	**
450	0,70	0,95	1,30	1,68	2,10	2,55	3,05	3,50	4,00	4,55	5,05	**	**	**	**	**	**	**	**
475	0,80	1,05	1,42	1,85	2,30	2,85	3,35	3,87	4,40	4,95	**	**	**	**	**	**	**	**	**
500	0,90	1,20	1,55	2,00	2,55	3,15	3,70	4,25	4,85	5,40	**	**	**	**	**	**	**	**	**
525	0,92	1,28	1,68	2,12	2,70	3,35	3,90	4,50	5,12	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
550	0,95	1,35	1,75	2,30	2,90	3,60	4,25	4,85	5,40	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
575	0,97	1,42	1,85	2,42	3,15	3,80	4,50	5,15	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
600	1,00	1,50	2,00	2,60	3,30	4,10	4,80	5,40	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**

* Zu kleine Durchmesser. ** Zu hohe Geschwindigkeiten.

Transmissionswellen.

Zu übertragende Leistung PS	Durchmesser der Wellen in mm bei einer Drehzahl in einer Minute von													
	60	80	100	120	140	160	180	200	225	250	275	300	350	400
1	45	45	40	40	35	35	35	35	35	35	30	30	30	30
2	55	50	50	45	45	40	40	40	40	40	35	35	35	35
3	60	55	50	50	50	45	45	45	45	40	40	40	40	40
4	65	60	55	55	50	50	50	50	45	45	45	45	40	40
5	65	60	60	55	55	55	50	50	50	50	45	45	45	45
6	70	65	60	60	55	55	55	50	50	50	50	50	45	45
7	75	70	65	60	60	55	55	55	55	50	50	50	50	45
8	75	70	65	65	60	60	55	55	55	55	50	50	50	50
9	75	70	70	65	65	60	60	60	55	55	55	50	50	50
10	80	75	70	65	65	60	60	60	55	55	55	55	50	50
11	80	75	70	70	65	65	60	60	60	55	55	55	55	50
12	85	75	75	70	65	65	65	60	60	60	55	55	55	50
13	85	80	75	70	70	65	65	65	60	60	60	55	55	55
14	85	80	75	75	70	70	65	65	60	60	60	60	55	55
15	85	80	75	75	70	70	65	65	65	60	60	60	55	55
16	90	85	80	75	70	70	70	65	65	65	60	60	60	55
17	90	85	80	75	75	70	70	65	65	65	60	60	60	55
18	90	85	80	75	75	70	70	70	65	65	65	60	60	60
19	90	85	80	80	75	75	70	70	65	65	65	65	60	60
20	95	85	85	80	75	75	70	70	70	65	65	65	60	60
25	100	90	85	85	80	80	75	75	70	70	70	65	65	60
30	105	95	90	85	85	80	80	75	75	70	70	70	65	65
35	105	100	95	90	85	85	80	80	80	75	75	75	70	70
40	110	105	100	95	90	85	85	85	80	80	75	75	70	70
45	115	105	100	95	95	90	85	85	85	80	80	75	75	70
50	115	110	105	100	95	90	90	85	85	85	80	80	75	75
55	120	110	105	100	95	95	90	90	85	85	85	80	80	75
60	120	115	110	105	100	95	95	90	90	85	85	85	80	75
65	125	115	110	105	100	100	95	95	90	90	85	85	80	80
70	125	120	110	105	105	100	95	95	90	90	90	85	85	80
75	130	120	115	110	105	100	100	95	95	90	90	85	85	80
80	130	120	115	110	105	105	100	100	95	95	90	90	85	85
85	135	125	120	115	110	105	100	100	95	95	90	90	85	85
90	135	125	120	115	110	105	105	100	100	95	95	90	90	85
95	135	130	120	115	110	110	105	100	100	95	95	90	90	85
100	140	130	120	115	115	110	105	105	100	100	95	95	90	85
105	140	130	125	120	115	110	105	105	100	100	95	95	90	90
110	140	130	125	120	115	110	110	105	105	100	100	95	90	90
115	145	135	125	120	115	115	110	105	105	100	100	95	95	90
120	145	135	130	120	120	115	110	110	105	100	100	100	95	90

Abstand der Lager bei normalen Triebwerkwellen.

(Gemessen von Mitte zu Mitte).

Bei einem Wellendurchmesser von mm	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Abstand der Lager nicht größer als m	1,7	1,8	1,9	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5

Diese Werte geben nur einen ersten Anhalt für die Anordnung. Oertliche Verhältnisse, wie Stellung der Arbeitsmaschinen, Lage der Riemenscheiben zu den Lagern, Abmessungen der Gebäudeteile (Säulen-, Balken- und Trägerabstände) bestimmen die notwendigen Lagerabstände endgiltig.

XIII. Seiltriebe.

Obwohl bis zu den größten Leistungen Riementriebe insbesondere mit Spannrollen verwendet werden, erfordern zuweilen besondere Betriebsbedingungen (z. B. besonders große Achsenabstände) die Anwendung von Seiltrieben, so auch für den Antrieb mehrerer Wellen in verschiedenen Räumen von derselben treibenden Welle aus.

Das **Uebersetzungsverhältnis** wähle man bei verhältnismaßig kleinen Achsenentfernungen nicht über 1 : 6; nur bei großen Entfernungen kann man höher gehen.

Die Berechnung der Gegenscheibendurchmesser erfolgt hier wie bei Riemenantrieben. Der Seilrutsch ist durch k = 1,01 zu berücksichtigen. Die Auswahl der Seile geschieht nach untenstehender Tafel.

Tabelle über die Anwendung von Hanfseilen.

Seil-durch-messer mm	Kleinster Scheiben-durchmesser in mm		Zulässige Nutz-belastung eines Seiles in kg	Uebertragbare Pferdestärken eines Seiles bei einer Seilgeschwindigkeit in m pro Sekunde von			
	für Hanfseil	für Baumwollseil		10	15	20	25
30	900	600	45	6	9	12	15
35	1050	700	60	8	12	16	20
40	1200	800	80	10,5	16	21	26,5
45	1350	900	100	13,3	20	26.6	33.3
50	1500	1000	125	16.6	25	33.3	41.6

Die erforderliche **Anzahl der Seile** ergibt sich aus der Division der gesamten zu übertragenden PS durch den für den bestimmten Fall in Frage kommenden Wert der stark umrahmten Tabelle.

Die Seilgeschwindigkeit v ergibt sich nach der Formel:

$$v = \frac{n \times d \times 3{,}14}{60 \times 1000} \text{ in m pro Sekunde,}$$

worin bedeutet:

n = Drehzahl einer der Scheiben pro Minute,
d = Durchmesser derselben Scheibe in mm.

Der Wirkungsgrad von Seiltrieben sinkt um so mehr, je größer die Anzahl der auf einer Seilscheibe liegenden Seile ist.

XIV. Transport und Aufstellung von Elektromotoren.

Für den sachgemäßen Transport können nur allgemeine Regeln angegeben werden, wie sie für täglich vorkommende Verhältnisse passen. Diese Regeln müssen unbedingt der besonderen Oertlichkeit und insbesondere der Größe der zu transportierenden Motoren angepaßt werden. Die nachstehenden Vorkehrungen sind für Motoren mittlerer Größe etwa bis zu 20—30 Pferdestärken bestimmt. Kleine Motoren bis zu etwa 50 kg Gewicht kann man im allgemeinen ohne besondere Geräte heben und tragen. Bei größeren Maschinen dagegen, welche hier nicht behandelt sind, muß man doch weitergehende Rüstungen und Transportmittel beschaffen, die von Fall zu Fall durchdacht und angeordnet werden müssen.

Bei Transporten von Elektromotoren in **wagerechter** Richtung darf die Maschine nie unmittelbar auf Stein- oder Eisenboden bewegt werden, sondern es müssen stets Bretter oder Bohlen untergelegt werden. Wenn der Motor nicht auf die zum Versand üblichen Fußleisten aufgeschraubt ist, soll man ihn wenigstens lose auf ein Bohlenstück oder zwei Balkenenden stellen, damit durch hartes Aufsetzen die Gußfüße nicht abgebrochen werden. Um einen Motor auf dieser Holzzwischenlage fortzubewegen, muß man eine Walze unterschieben, die gewöhnlich aus einem Stück ein- oder zweizölligen Gasrohres besteht. Um die Walze aber unterschieben zu können, muß mittels Brecheisens (Hebebaums) die Holzzwischenlage samt dem Motor angehoben werden. Da dies aber mit einem Hub nur 1 bis 2 cm möglich ist, schiebt man nach

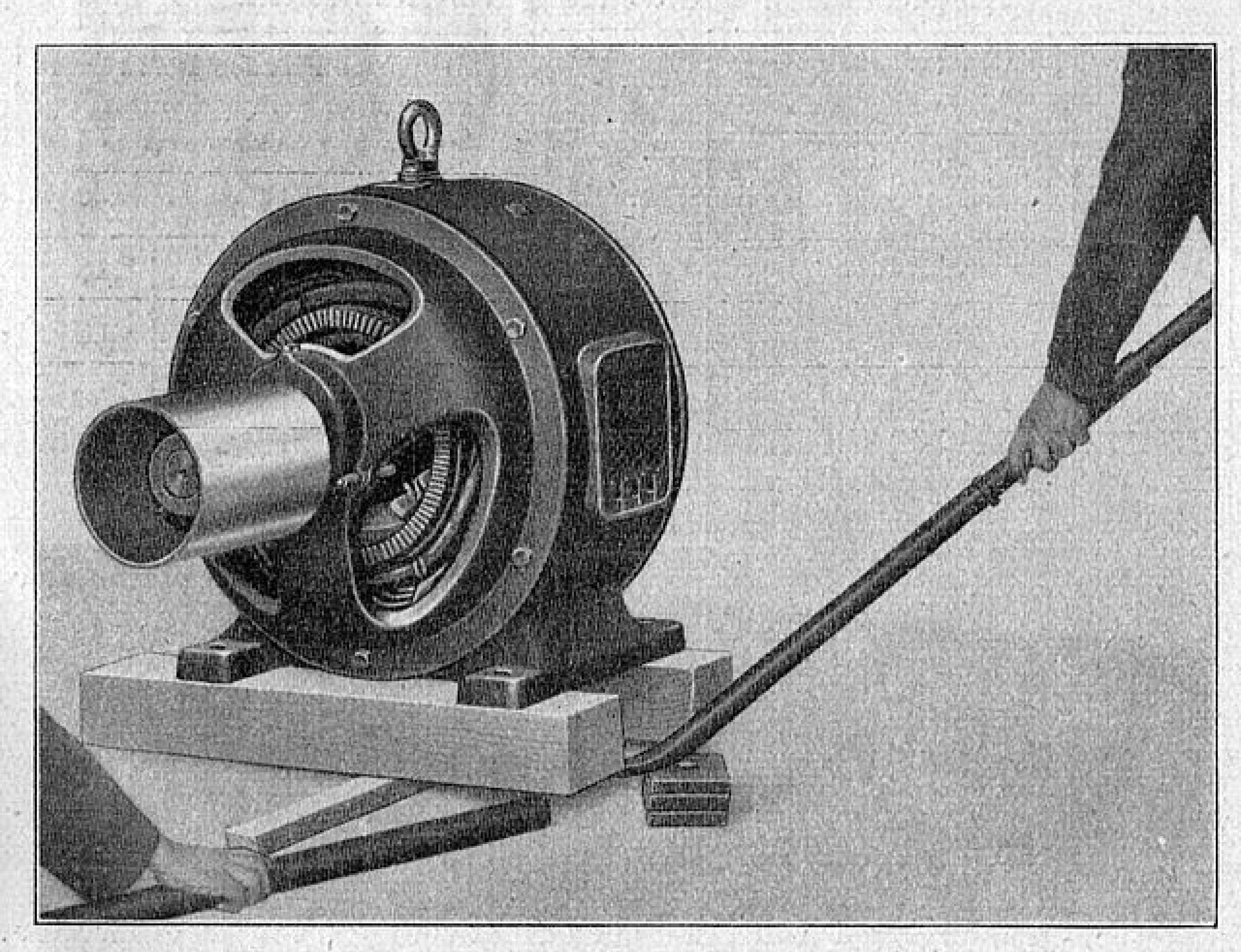


Abb. 44. Anheben des Motors und Unterschieben der ersten Walze. K 1436

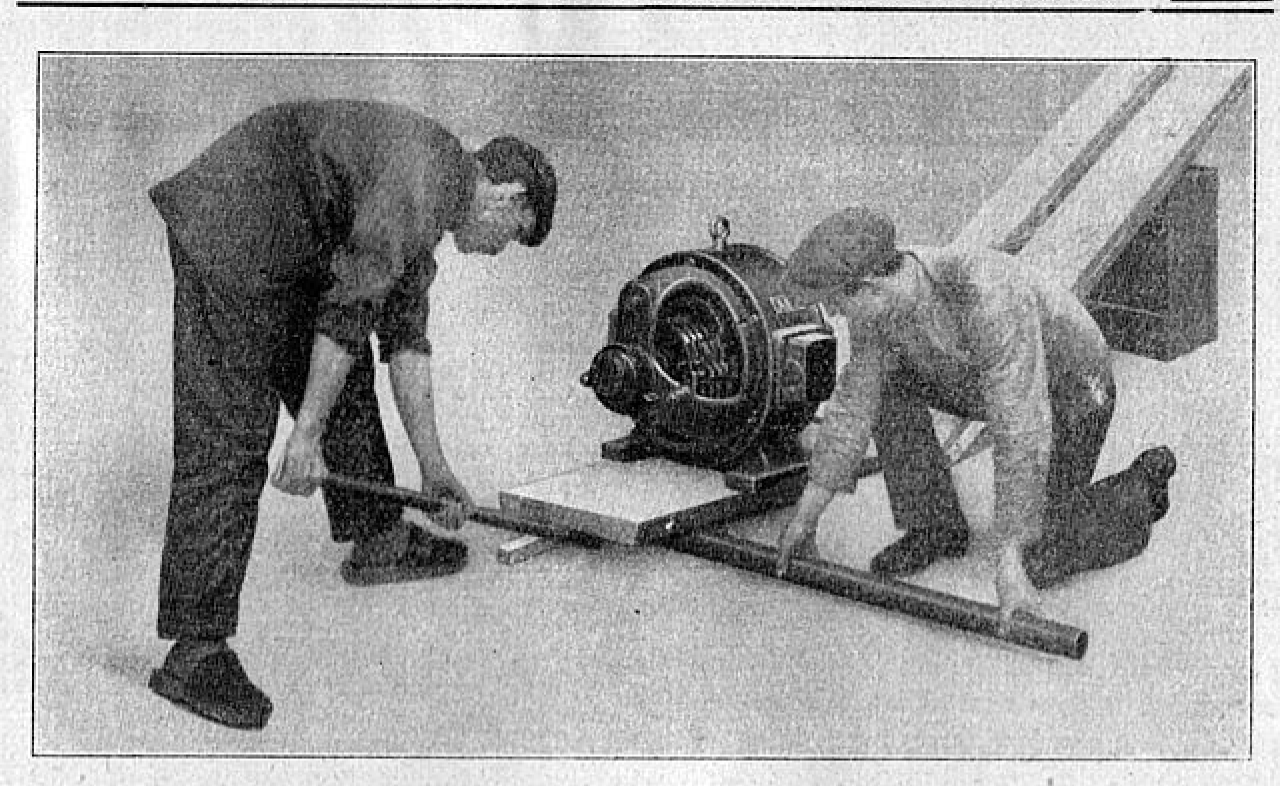


Abb. 45. Wagerechter Transport im Anschluß an das Abladen des Motors. K 1437

dem Anheben erst einen Holzkeil unter, um dann mit dem Eisen nachzufassen und weiter zu heben (Abb. 44). Meist muß man unter das Brecheisen noch Beilagen legen, um die Walze unterschieben zu können.

Abb. 46. Richtungswechsel (Schwenkung) beim wagerechten Transport. K 1438

Die einzelnen Bewegungen dürfen nur langsam, niemals ruckweise und immer nur um wenige Zentimeter vorgenommen werden, da schwere Massen nie in schnelle Bewegung kommen dürfen. Ist die erste Walze untergeschoben, so wälzt man den Motor so weit vorwärts, bis sie etwa mitten unter ihm liegt (Abb. 45). Dann kann man den Motor leicht ankippen und an der gehobenen Seite eine zweite, gleich dicke Walze unterlegen. Beim Weiterschieben wird die erste Walze frei, während dann die zweite etwa mitten unter dem Motor liegt (Abb. 46). Man braucht jetzt nur die erste Walze ebenso wie vorher die zweite nach vorn unterzulegen, um in dieser Weise den Horizontaltransport in gerader Richtung beliebig fortsetzen zu können. Will man aber einen Richtungswechsel ausführen, so legt man beim Walzenwechsel die vorn unter-

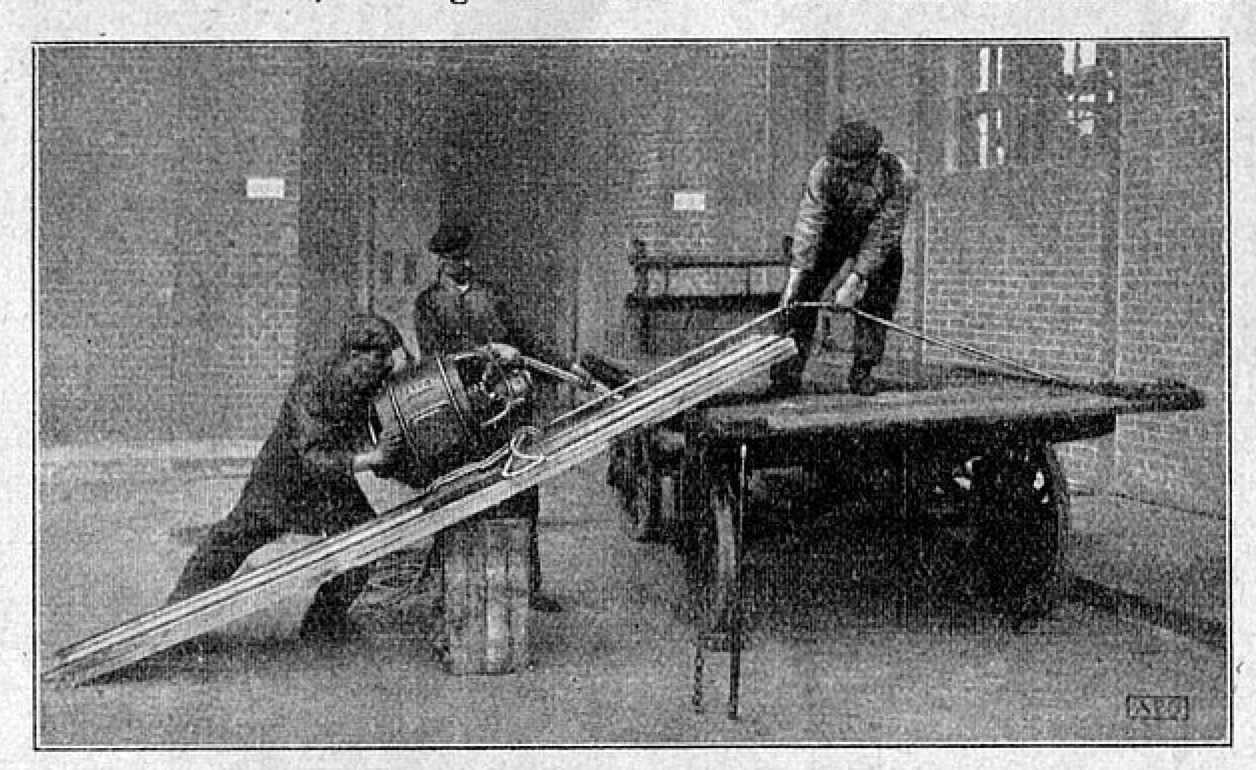


Abb. 47. Aufladen eines Motors. Ueber die Flacheisen auf den Bohlen gleitet der Motor leicht nach oben, wenn der auf dem Wagen stehende Mann das Seil kräftig anzieht. K 1439

zulegende Walze nicht parallel zur festliegenden Walze, sondern in einen Winkel zu dieser, der etwa halb so groß ist wie die beabsichtigte Schwenkung ausmachen soll.

Während beim Horizontaltransport die Reibung der Walzen genügt, um eine zu schnelle Bewegung des Motors zu verhindern, soll man bei allen Schrägtransporten Walzen ganz vermeiden und außerdem stets den Motor noch durch Seile abfangen. Beim Schrägtransport würden Walzen nämlich zu leicht den Motor in eine beschleunigte Bewegung geraten lassen, die dann häufig nicht mehr aufzuhalten ist. Selbst die gleitende Reibung gestattet vielfach ein Rutschen noch so weit, daß man sich auf die Kräfte der Bedienungsmannschaft nicht allein verlassen darf, sondern ein Abfangen des Motors notwendig ist.

Wenn irgend möglich, sollte ein Schrägtransport nur auf einer Bohlenbahn gemacht werden, da ein stufenweiser Transport durch „Unterklotzen“ immer schwierig und nie ganz unbedenklich ist. Der häufigste Schrägtransport ist natürlich das **Auf- und Abladen** von Motoren auf Wagen. Die Bohlen werden schräg gegen den Wagen gelegt, so

Abb. 48. Zum Abladen des Motors wird er leicht angekippt und die Bohlen untergeschoben. K 1440

daß sie die Plattform reichlich überragen (Abb. 47). Gegen unzulässiges Durchbiegen werden sie leicht durch eine leere Kiste gestützt. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Kiste nicht von vornherein die Bohlen berühren darf, da sie dann beim späteren Durchbiegen der Bohlen kippt. Sie soll vielmehr nur bei zu starkem Durchbiegen von den Bohlen berührt werden, also wenn der Motor sich etwa über der Kiste befindet.

Abb. 49. Wenn der abzuladende Motor auf den Bohlen steht, werden diese unter Anspannen des Halteseiles nach unten gekippt. K 1441

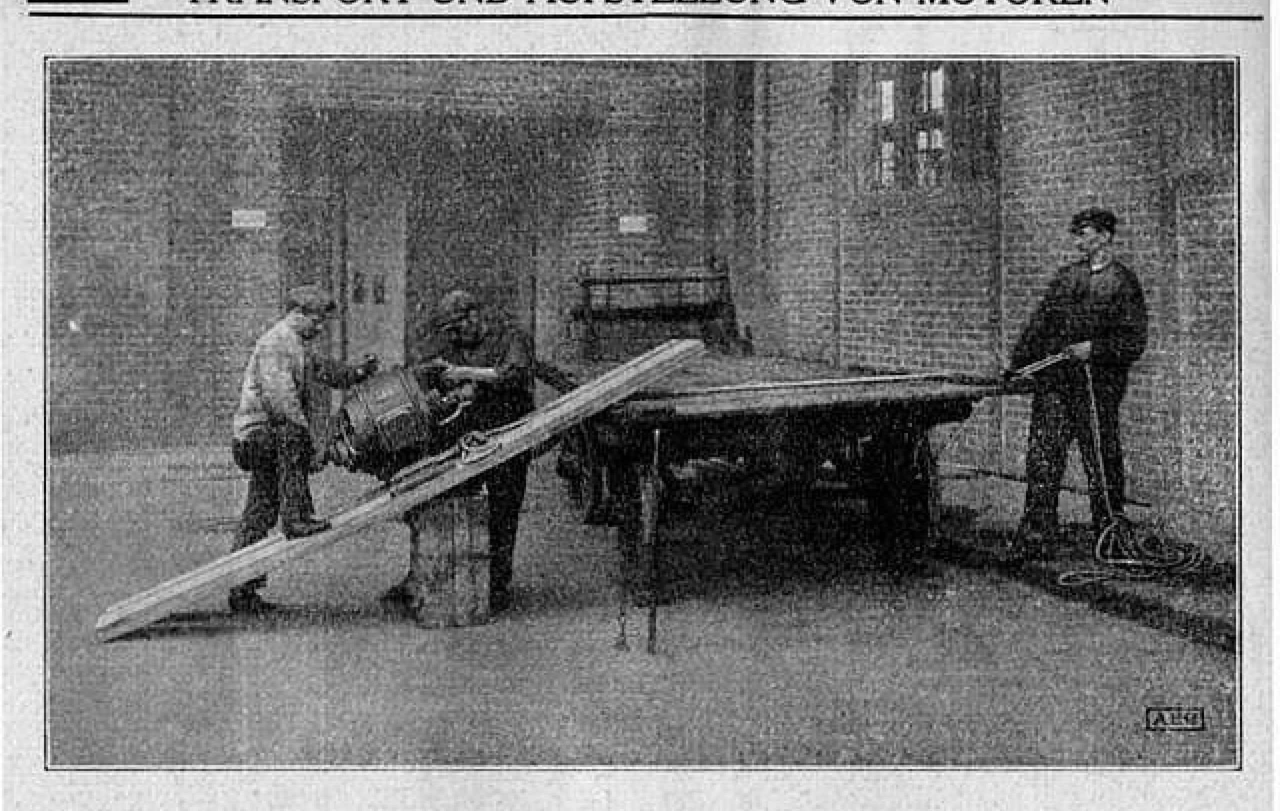


Abb. 50. Der abzuladende Motor gleitet beim Nachlassen des Halteseiles nur, wenn man ihn am unteren Ende leicht anhebt. K 1442

Beim **Aufladen,** d. h. also beim Schrägtransport nach oben, ist die Reibung des Motors auf Holzbohlen leicht so groß, daß sie die Fortbewegung zu sehr behindert. Dem begegnet man am besten dadurch, daß man je ein Flacheisen auf die Bohlen legt, so daß nur die Reibung von Eisen auf Eisen zu überwinden ist, die als bremsende Kraft aber noch ausreicht. Das Abfangen des Motors durch Seile geschieht in der Weise, daß um den Motorkörper oberhalb der Füße ein Doppelseil geschlungen und geknotet wird, das von dem noch untenstehenden Motor aus straff über die Wagenplattform und um diese herumgezogen wird. Der Wagen muß natürlich festgebremst oder durch Klötze an der Fortbewegung gehindert sein. Das straffe Seil läßt sich dann von dem auf dem Wagen stehenden Mann leicht heben, während der Motor unter sehr geringem Kraftaufwand der Mannschaft nach oben gleitet. Der dritte Mann, welcher das Ende des Seiles hält, hat lediglich das Seil straff zu halten, insbesondere wenn der obenstehende Mann nachfaßt. Ist der Motor weit genug nach oben gezogen, so kann man die Bohlen leicht ankippen und herausziehen.

Dieser letzte Vorgang ist ganz ähnlich dem umgekehrten beim **Abladen,** dem Unterschieben der Bohlen unter den abzuladenden Motor (Abb. 48). Das Halteseil wird hier nicht so scharf um den Wagen geschlungen, da es beim Herablassen nachgelassen werden muß (Abb. 49). Steht der Motor auf den Bohlen an der Wagenkante, so wird er unter Straffhalten des Seiles gekippt und gleitet unter der bremsenden Kraft der Reibung auf Holz bei leichtem Anheben des unteren Motorendes langsam abwärts (Abb. 50). Schließt sich an den Schrägtransport, wie es meist ist, ein Horizontaltransport an, so tut man gut, den Motor gleich auf die hierzu nötige Bohlenunterlage gleiten zu lassen (Abb. 45).

Handelt es sich um größere Höhenunterschiede oder etwas schwerere Maschinen, so muß das einfache Seil durch ausreichend kräftige Flaschenzüge ersetzt werden, die ein ganz allmähliches Nachlassen gefahrlos ge-

statten (Abb. 51). Dabei muß die bremsende Reibung noch so groß sein, daß erst nach leichtem Anheben des Motors mit Brecheisen ein Rutschen zustande kommt. Wie die Abb. 51 zeigt, werden solche Motoren dann auch oben und unten mit dem Flaschenzug verbunden, so daß auch seitliches Kippen nicht ohne weiteres möglich ist. Für solche Transporte ist ein zuverlässiger Befestigungspunkt für den Flaschenzug zu schaffen, dessen Anordnung jedoch so von der Oertlichkeit abhängt, daß hierfür Weisungen nicht gegeben werden können.

Ein **senkrechtes** Bewegen des Motors ist in der Regel am einfachsten, da hierzu nur ein selbstsperrender Flaschenzug von genügender Tragfähigkeit erforderlich ist, an dem der Motor mit der hierzu vorgesehenen Transportöse befestigt wird. Besonders zu beachten ist also nur die Aufhängung des Flaschenzuges. Wenn hierfür im Gebäude Haken, Träger oder dergl. nicht vorhanden sind, so muß man einen Transportbock beschaffen, an dessen wagerechten Balken der Flaschenzug aufgehängt wird. Hierzu ist stets ein doppeltes Seil zu nehmen (Abb. 52), so daß beide Seile den Flaschenzug gleichzeitig tragen.

Schwieriger wird die Anbringung des Flaschenzuges und das Anbinden des Motors, wenn er mit den Füßen nach oben an der Decke befestigt werden soll (Abb. 52). Wenn möglich, soll man hierzu über der Befestigungsstelle des Motors ein Loch in die Decke machen, durch welches die Kette des Flaschenzuges geführt wird, der im oberen Stockwerk aufgehängt ist und auf Kommando von unten betätigt wird. Abb. 52 zeigt außerdem das Anbinden des Motors, das hier besonders sorgfältig zu machen ist und die Füße frei lassen muß. Ist der Motor bis auf die für seine Befestigung vorgesehene Unterlage hochgezogen, so werden die Befestigungsbolzen eingezogen und das Seil erst nach dem Ausrichten entfernt (Abb. 53).

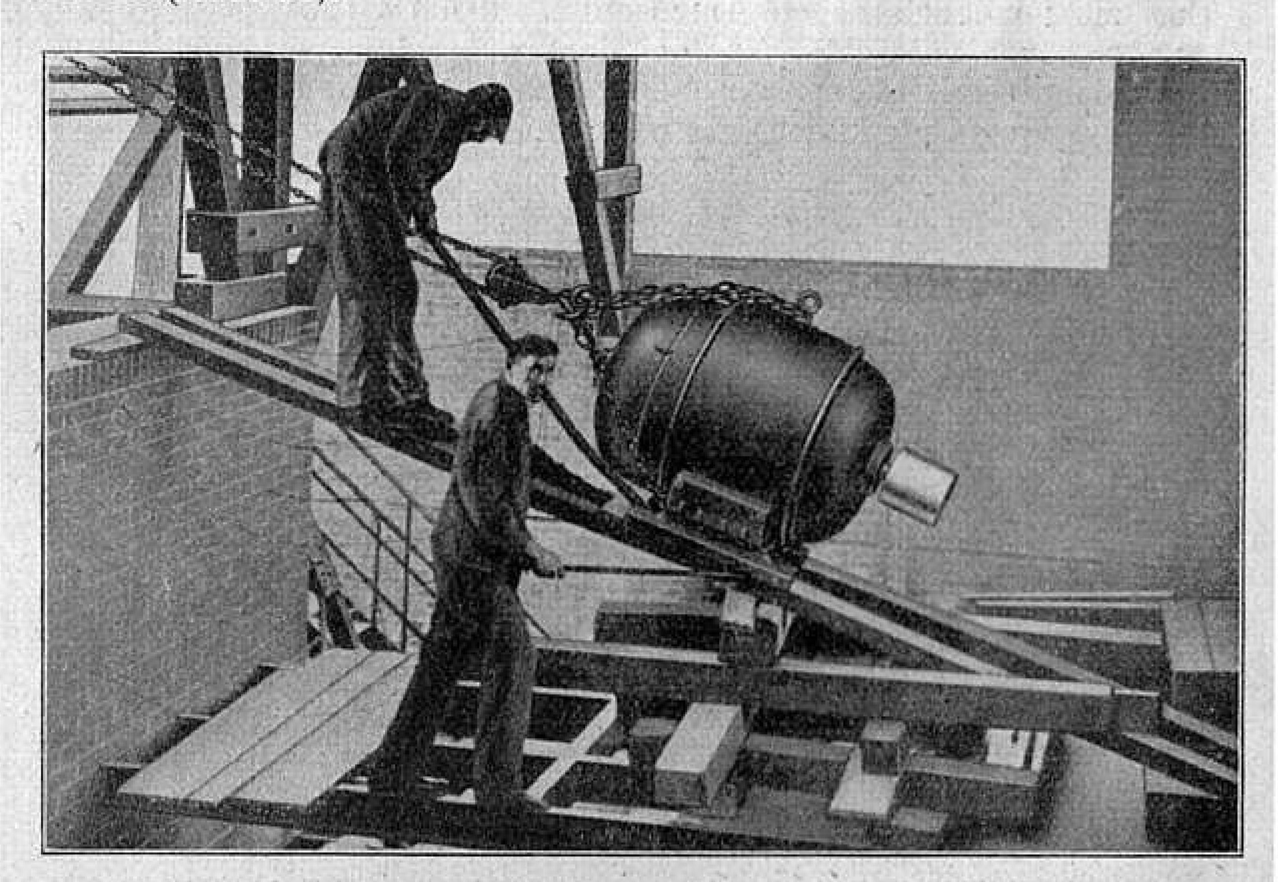


Abb. 51. Schwerer Schrägtransport abwärts. Der Motor ist doppelt gefaßt und von einem selbstsperrenden Kettenflaschenzug gehalten. K 1443

Abb. 52. Montage eines Motors an der Decke. K 1444
Der Flaschenzug hängt im oberen Stockwerk. Das Halteseil muß die Füße freilassen.

Ist bei der Deckenbefestigung eine Mitbenutzung des oberen Stockwerkes nicht möglich, so muß man unterhalb der Decke plattformartige Rüstungen bauen, auf welche der Motor durch Schrägtransport hinaufgebracht wird. Sodann verbleibt nur das Umdrehen und eine ganz geringe Aufwärtsbewegung durch Unterklotzen, um den Motor an die Decke zu bringen.

Abb. 53. Der Motor berührt die Tragschienen und wird festgeschraubt. K 1445

Abb. 54. Motoren mit Riemen-Spannrollen an der Decke fertig montiert K 1446
Ueber Spannrollen s. Seite 340.

Abb. 55. Aufsetzen einer Riemenscheibe. TWL 7652

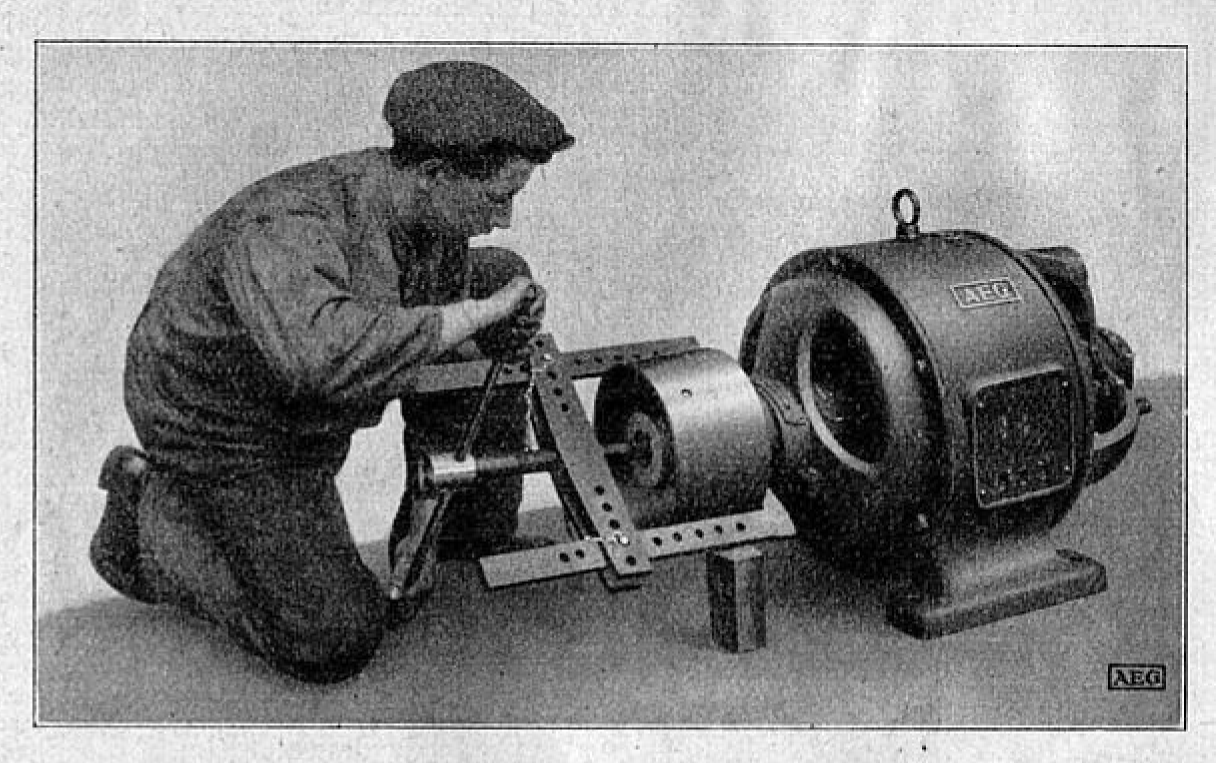


Abb. 56. Abziehen einer Riemenscheibe. TWL 7653

Zu den bei der Aufstellung von Motoren vorkommenden Arbeiten gehört auch das **Aufbringen der Riemenscheibe.** Eine gut passende Scheibe läßt sich nicht von Hand einfach aufsetzen, sondern muß aufgetrieben werden. Nachdem die Feder eingelegt ist, wird die Scheibe auf das äußerste Wellenende aufgesetzt und unter Zwischenlegen eines Holzklotzes mit leichten Schlägen weitergetrieben, wobei man den Holzklotz rings um die Nabe der Scheibe herumführt (Abb. 55). Beim Auftreiben der Riemenscheibe muß mit einem passenden Gegenstand, am besten mit einem kräftigen Hammerstiel am anderen Wellenende gut vorgehalten werden, sonst treten Beschädigungen der Schmierringe und Lager ein. Die Stirnfläche der Welle soll mit der Nabe bündig abschließen. Sodann ist die Schraube anzuziehen, welche die Scheibe auf der Welle gegen Lockern sichert.

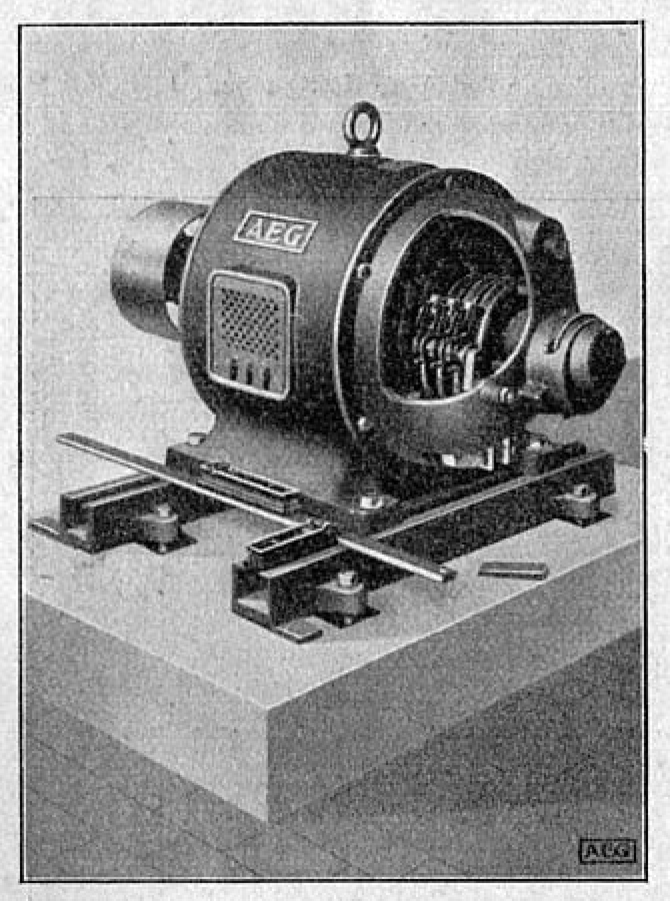


Abb. 57. Ausrichten nach der Wasserwage vor dem Vergießen. Motor an den Schienen fest angeschraubt. K 1447

Fast ebenso häufig muß der Monteur eine Riemenscheibe abziehen. Dies ist zweckmäßig nur mit Hilfe einer Spindel zu bewerkstelligen (Abb. 56). Eine derartige Vorrichtung läßt sich für zahlreiche verschiedene Größen von Scheiben benutzen und, wenn nicht als Werkzeug vorhanden, auch leicht durch

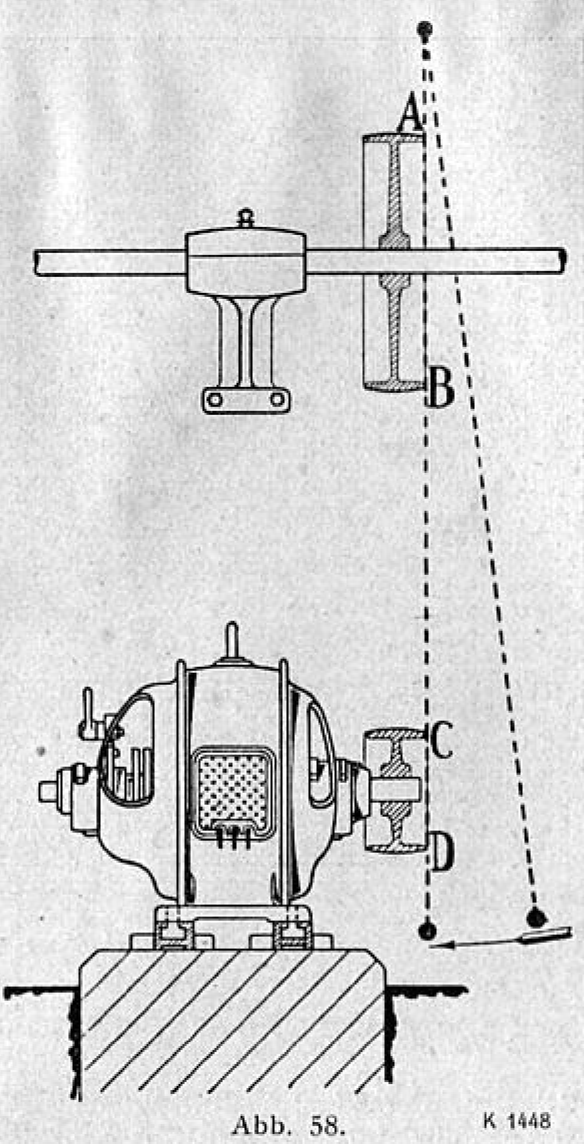


Abb. 58. K 1448

Bei schrägen und wagerechten Riementrieben ist die parallele Lage der Wellen nur gewährleistet, wenn bei gleichen Breiten der Riemenscheiben die vier Punkte A, B, C, D auf einer geraden Linie liegen.

einen Bolzen mit Mutter und entsprechende Eisenbügel ersetzen. Ein untergestellter Klotz verhindert die Welle, an der Drehbewegung der Spindel teilzunehmen.

Das **Ausrichten eines Motors** für Riemenantrieb muß dem Vergießen der Spannschienen vorausgehen. Auf die lose auf das Fundament gelegten Schienen wird der Motor fest angeschraubt und so zunächst das Ganze ausgerichtet. Um die richtige wagerechte Stellung zu erlangen, wird die Wasserwage auf die bearbeitete Fläche der Fundamentschienen gelegt (Abb. 57) und durch Unterschieben von Keilen die Wage in ihre Mittelstellung gebracht. Man verwende nur Keile aus Eisen, da Holzkeile sich leicht eindrücken und bei dem späteren Vergießen aufquellen. Wie in der Längsrichtung sind die Schienen auch quer auszurichten, indem man ein Lineal, Richtlatte oder dergl. quer über die Schienen legt.

Wenn so die Spannschienen in der Wage liegen, wird die Motorwelle zur Transmissionswelle und die Motorriemenscheibe zur Transmissionsriemenscheibe ausgerichtet. Dabei sind zwei Bedingungen zu erfüllen:

1. Beide Wellen müssen genau parallel liegen;
2. Die Mittelebenen beider Riemenscheiben müssen zusammenfallen.

Um das festzustellen, müssen beide Riemenscheiben aufmontiert sein. Ohne Scheibe kann man den Motor nicht genau ausrichten. Die genaue Lage der Wellen wird dann erreicht sein, wenn die rechtwinklig zu den Wellen liegenden Kranzebenen der beiden Scheiben parallel liegen. Verbindet man je zwei gegenüberliegende Punkte der beiden Scheibenkränze, so muß dies eine gerade Linie ergeben, d. h. alle vier Punkte müssen auf einer Geraden liegen (Abb. 58). Man prüft das so, daß man einen Bindfaden an die entferntere Kante der Gegenscheibe hält und das andere Ende langsam von außen gegen die Motorscheibe zu bewegt. Dann sieht man, welcher der drei übrigen Punkte sich zunächst dem Bindfaden nähert (Abb. 59). Dann rückt man den Motor so, daß beide Punkte seiner Scheibe genau gleichzeitig mit dem dritten Punkt an der Gegenscheibe den Bindfaden berühren. Keiner der Punkte darf ihn früher, keiner später berühren. Dann stehen die Wellen parallel. Nun versäume man nicht, nochmals die Probe mit der Wasserwage zu wiederholen, da bei dem Ausrichten des Riemenlaufs die wage-

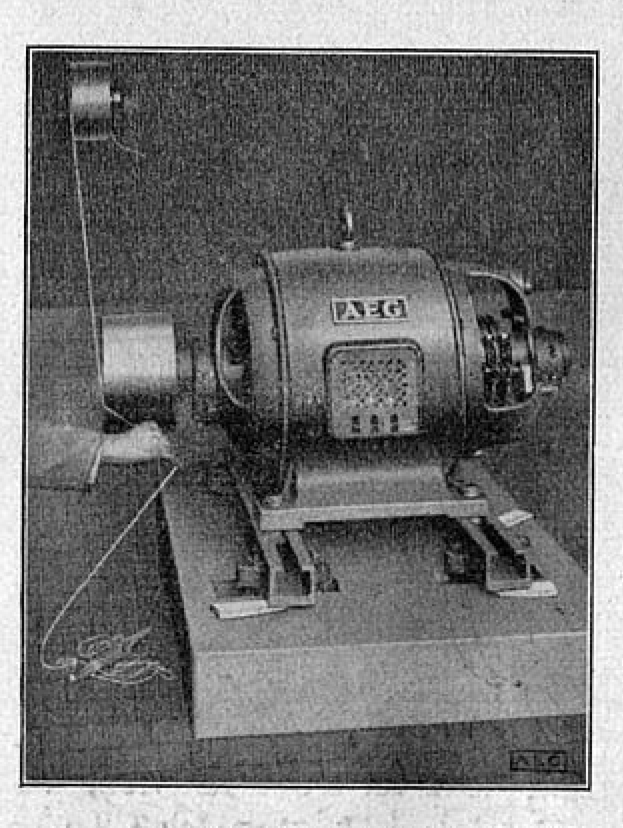


Abb. 59. Der Motor steht TWL 7654
noch nicht parallel zur angetriebenen Welle.

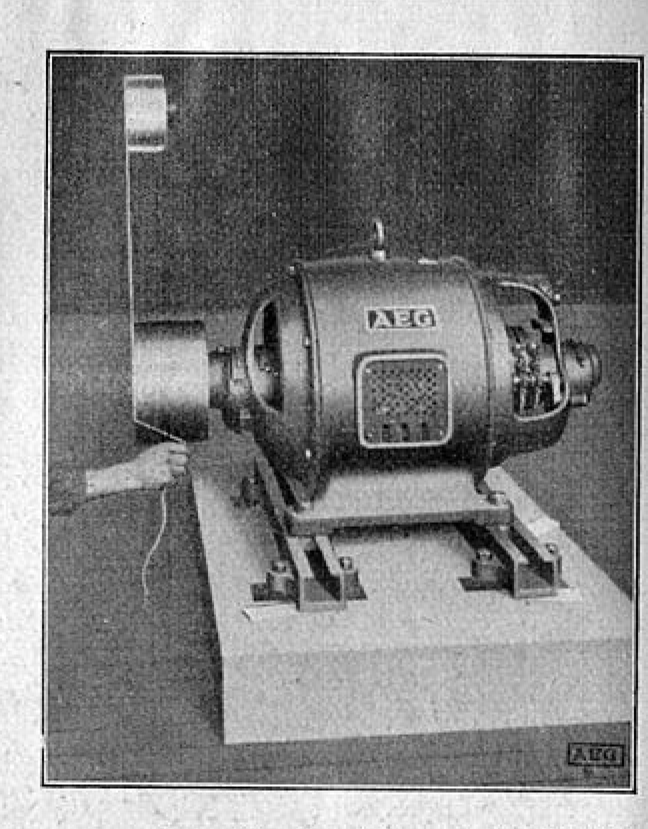


Abb. 60. Der Motor steht TWL 7654
parallel zur angetriebenen Welle.

rechte Lage der Spannschienen verschoben sein kann, und erst wenn alle drei Proben — die beiden Stellungen der Wasserwage und die Bindfadenprobe — gleichzeitig stimmen (Abb. 60), schreite man zum Vergießen.

Das **Ausrichten von Maschinen,** die direkt gekuppelt werden sollen, ist für alle Arten der Kupplung wie folgt auszuführen. Es ist gleichgültig, ob es sich um starre Kupplungen (Flansch- oder Muffenkupplungen) oder um bewegliche (Band- oder Lederringkupplungen) handelt. In beiden Fällen müssen die Wellen nicht nur parallel, sondern in der gleichen Achslinie liegen; denn die bewegliche Kupplung ist erst in zweiter Linie dazu da, Ungenauigkeiten auszugleichen. In erster Linie soll sie die Uebertragung von Stößen verhindern. Bei allen ungeteilten Kupplungen, die vor dem Ausrichten aufgebracht werden müssen und dann das Wellenende fast ganz besetzen, kann man von der Wasserwage zum Ausrichten der Wellen zueinander kaum Gebrauch machen. Am besten eignet sich ein Werkzeug nach Art der Abb. 61, das für viele

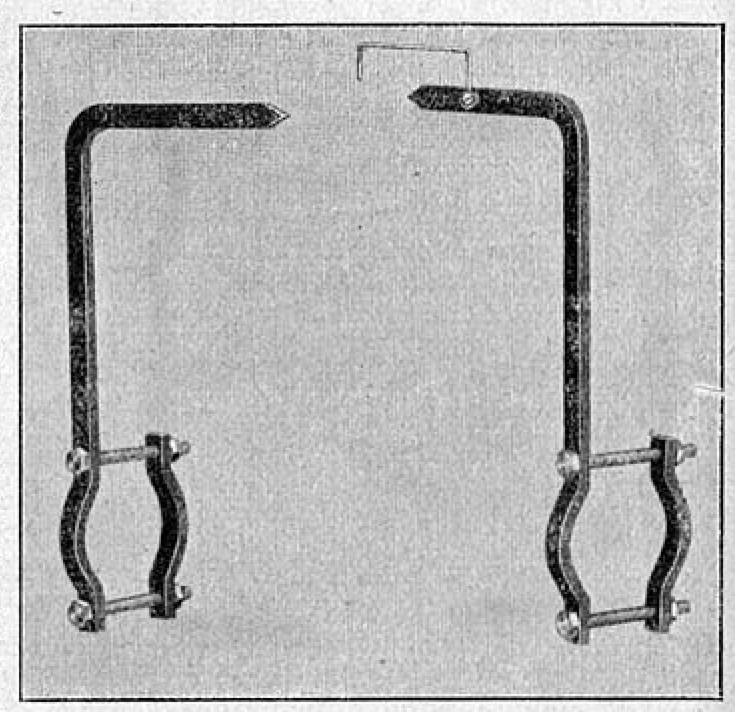


Abb. 61. Werkzeug zum Ausrichten K 1449
direkt gekuppelter Maschinen.
Anwendung s. Abb. 62.

verschiedene Wellenstärken und unabhängig von der Art der Kupplung geeignet ist. Nachdem die Wellen nach dem bloßen Auge einigermaßen richtig gestellt sind, wird das Werkzeug aufgesetzt (Abb. 62) und so geschoben, daß ein möglichst kleiner Zwischenraum zwischen den Spitzen verbleibt. Wenn man jetzt die beiden Wellen gleichzeitig dreht, darf sich der Abstand von Spitze zu Spitze nicht verändern. Das ist ein Beweis, daß die Wellen parallel stehen. Außerdem müssen sich bei der Drehung beide Spitzen genau gegenüber bleiben, da solange dies nicht der Fall ist, die Achslinien noch nicht zusammenfallen. Erst wenn also die gegenseitige

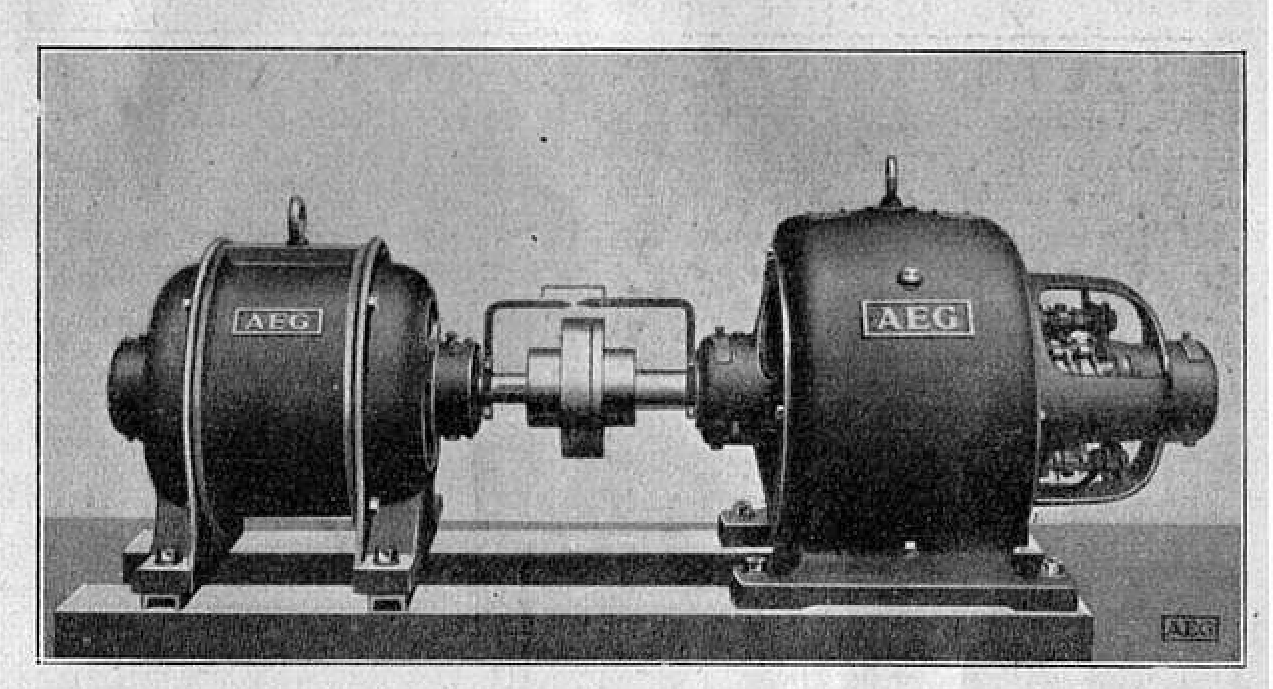


Abb. 62. Ausrichten zu kuppelnder Maschinen. K 1450
Während einer vollen Drehung der Anker dürfen die Spitzen ihre Lage zueinander nicht ändern.

Lage der Spitzen bei der ganzen Drehung die gleiche bleibt, ist die richtige Stellung der Wellen zueinander erreicht. Natürlich darf das Spiel der Wellen in Richtung der Achse nicht störend mitwirken. Dazu drückt man schon vorher die Wellen gegeneinander, was schon deshalb nötig ist, um den richtigen Abstand der Maschinen voneinander festzustellen. Die Wellen sollen sich ohnehin nicht berühren, und für jede Kupplung wird dieser Zwischenraum vorgeschrieben. Erst nach sorgfältigem Ausrichten in der beschriebenen Weise darf das Festschrauben bzw. Vergießen der Maschinen und das Verschrauben der Kupplungen vorgenommen werden. Näheres über Vergießen von Maschinen siehe unter Aufstellung von Generatoren.

Fundamente. Alles Nähere über die Herstellung von Ziegel- und Betonfundamenten siehe unter Aufstellung von Generatoren.

Konsole. Wenn wegen Raummangels, ungünstigen Riementriebes oder aus anderen Gründen die Aufstellung eines Motors auf einem Fundament nicht möglich ist, ist häufig ein Wandkonsol am Platze. Drehstrommotoren wählt man dann entweder mit Kurzschlußläufer oder mit Regulierschleifringanker, da eine Kurzschluß- und Bürstenabhebevorrichtung von unten schwer zu bedienen ist. Das Konsol muß außer dem Gewicht des Motors auch den Riemenzug mit Sicherheit aufnehmen. In der folgenden Tabelle sind die Abmessungen des erforderlichen U- und L-Eisens für die gängigsten Motorleistungen angegeben.

Angaben für die Anfertigung von Konsolen.

Motorleistung bis PS bei 1000—1500 U. p. M.	Erforderliches Eisen		In die Wand einzulassen	Stärke der Bohle
	U-Eisen Normalprofil	L-Eisen mm	cm	
2	NP 5	40 × 4	15—20	$1\frac{1}{4}$"
5	NP $6\frac{1}{2}$	40 × 5	20—30	$1\frac{1}{2}$"
8	NP 8	40 × 6	30—35	2"
12	NP 10	50 × 8	35—45	$2\frac{1}{4}$"

Die Konstruktion eines Wandkonsols und die Aufstellung eines Motors für parallel und senkrecht zur Wand verlaufenden Riemenzug zeigen die Abb. 63 und 64.

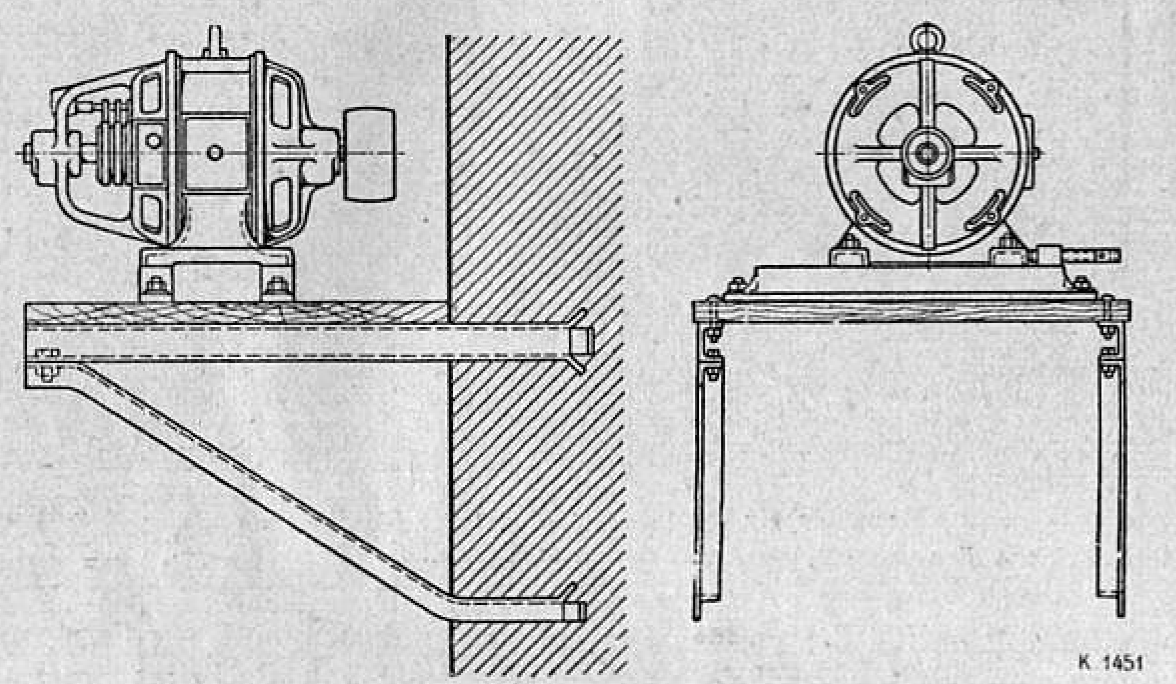


Abb. 63. Aufstellung eines Motors auf einem Wandkonsol, Riemenzug parallel zur Wand.

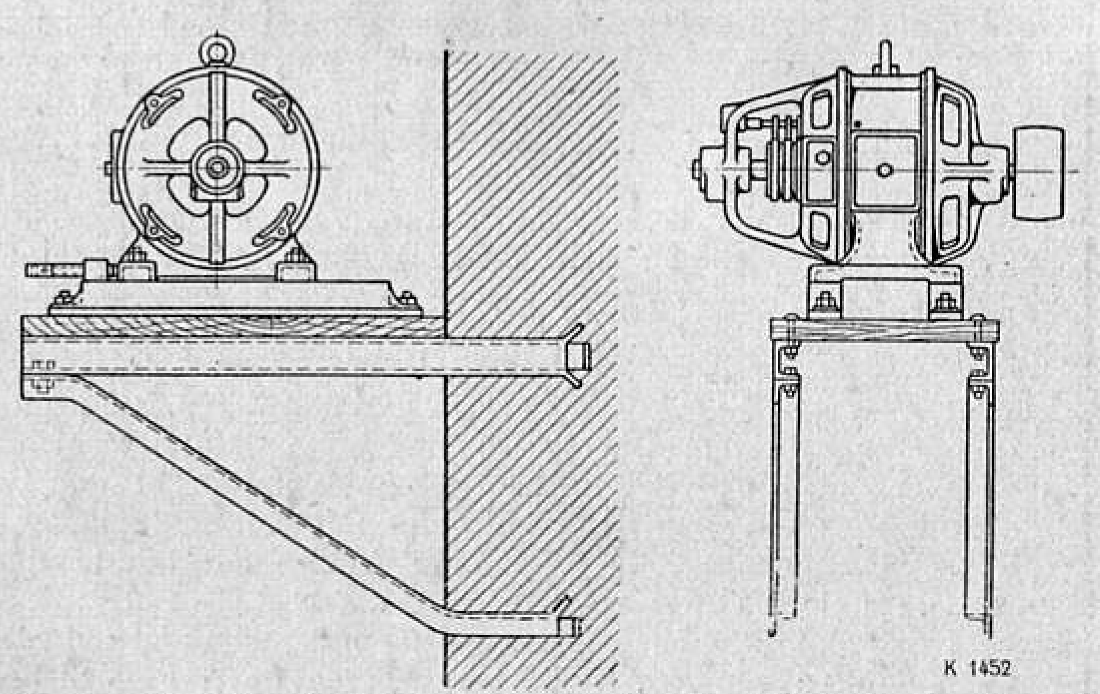
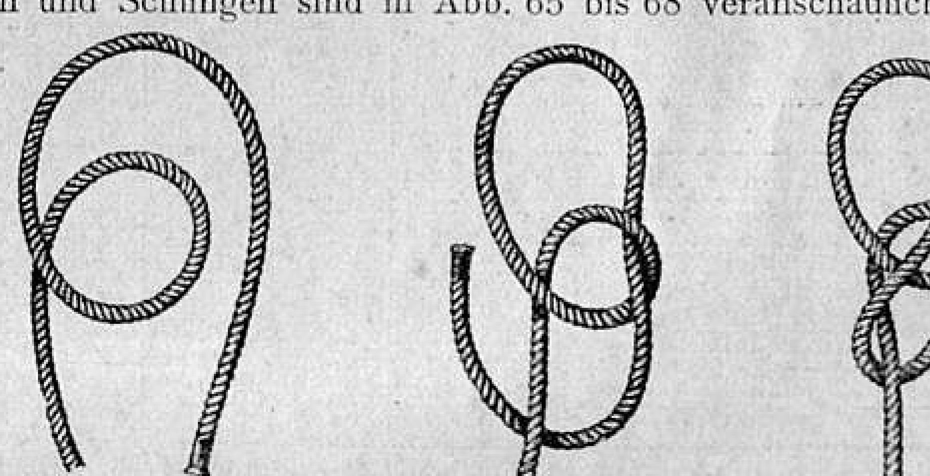


Abb. 64. Aufstellung eines Motors auf einem Wandkonsol, Riemenzug senkrecht zur Wand.

Das Konsol muß in wagerechter Lage mit Zementmörtel (Mischung siehe unter „Fundamente“) vermauert werden. Das Ausrichten erfolgt mit der Wasserwage, und zwar müssen sowohl jedes Einzelkonsol als auch beide zueinander wagerechte Lage haben. Die Abbindezeit beträgt 10—14 Tage. Erst dann darf die Abstützung der beiden Konsole entfernt und mit der Montage des Motors begonnen werden. Nachdem die Bohle aufgelegt worden ist, wird auf diese der Motor mit den Stellschienen aufgesetzt und, wie unter „Ausrichten eines Motors“ angegeben, sowohl wagerecht als auch zur Gegenscheibe ausgerichtet. Die wagerechte Stellung wird hierbei durch Eisenblechstücke, welche zwischen Bohle und Konsol geschoben werden, erreicht.

Anbindearbeiten. Die zum Heben einer Last verwendeten Flaschenzüge und Krankatzen dürfen nur bis zu der angegebenen Nutzlast beansprucht werden.

Die Last wird an dem Kranhaken durch Hanfseile, in besonderen Fällen auch durch Drahtschlingen und vereinzelt durch Ketten befestigt. Letztere sind unzuverlässig und vor der Verwendung genau zu untersuchen, ob sie nicht in sich verdreht sind und richtig aufliegen. Die Knoten der Seile müssen so geschlungen sein, daß sie sich durch das Gewicht der angehängten Last nicht auseinanderziehen. Andererseits ist dafür zu sorgen, daß sich die fest zusammengezogenen Knoten wieder leicht lösen lassen. Dieses wird durch einen in die Schlinge gesteckten Holzkeil erreicht. Die hauptsächlichsten für das Anbinden von Lasten in Betracht kommenden Knoten und Schlingen sind in Abb. 65 bis 68 veranschaulicht.



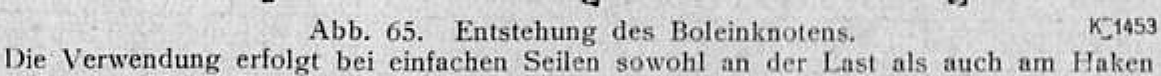
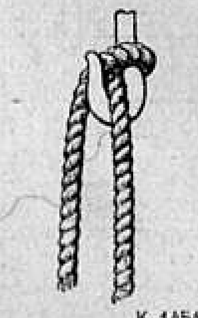
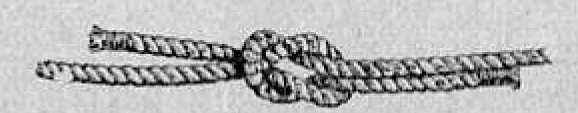


Abb. 65. Entstehung des Boleinknotens. K 1453
Die Verwendung erfolgt bei einfachen Seilen sowohl an der Last als auch am Haken

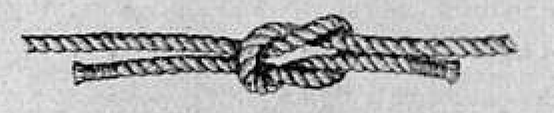


K 1454

Abb. 66. Schleppschlinge zum Schleppen von Materialien oder Wagen.



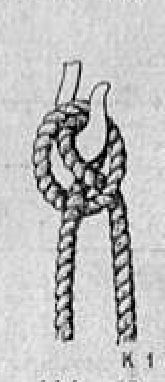
Falsche Ausführung, die Seilenden liegen auf beiden Seiten des Knotens.



Richtige Ausführung, die Seilenden liegen auf einer Seite des Knotens.

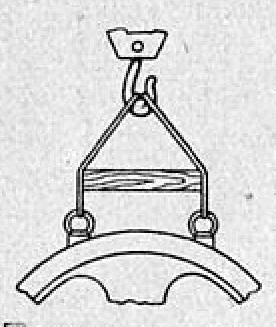
K 1455

Abb. 67. Kreuzknoten. Der Knoten stellt, da er nicht rutschen kann, eine sichere Verbindung dar.



K 1

Abb. 68. Kreuzschlinge Bei unrichtigem Einhängen erfolgt ungleiche Belastung der Seile.


Abb. 69. K 1457 Anhängen von Lasten mit zwei Oesen, unter Verwendung eines Spreizholzes.

Der Haken muß sich beim Anbinden möglichst senkrecht über der Last befinden, damit ein schräges Hochziehen vermieden wird. Gewaltsames Einzwängen der Seile bzw. Eintreiben mit Hämmern oder dergl. in die Kranhaken ist unzulässig. Die Haken dürfen nicht an den Spitzen beansprucht werden. Da der Seilzug möglichst in der Richtung des Bolzens der Aufhängeöse wirken soll, sind beim Transport von Lasten mit zwei Oesen zwischen die Seilenden Spreizhölzer zu legen (Abb. 69). Der Aufenthalt sowie die Vornahme von Arbeiten unter der am Kranhaken hängenden Last ist nicht zulässig. Ebenso ist das unnötig lange Hängenlassen der Last zu vermeiden. Das Abhängen der Seile darf erst nach sicherer Lagerung der Last erfolgen. Die zulässige Belastung von Hanfseilen und Drahtseilen ist in nachstehender Tabelle angegeben.

Zulässige Belastung von Hanfseilen und Drahtseilen.

Seildurchmesser	Anzahl und Durchmesser der Drähte	Zug gerade			Zug unter 45°
		Seil einfach	Seil zweifach	Seil vierfach	Seil vierfach
		K 1458	K 1459	K 1460	K 1461
mm	Anz./mm	kg	kg	kg	kg
Runde Hanfseile aus reinem, ungeteertem Schleißhanf bei achtfacher Sicherheit					
16	—	150	300	600	400
20	—	225	450	900	650
25	—	350	700	1400	950
30	—	500	1000	2000	1350
40	—	850	1700	3400	2400
50	—	1350	2700	5400	3800
Runde Drahtseile mit ca. 120 kg Festigkeit bei achtfacher Sicherheit					
13	222/0,6	600	1200	2400	1700
15	222/0,7	750	1500	3000	2130
20	588/0,5	1250	2500	5000	3540
24	588/0,6	2100	4200	8400	5950

Belastung von Decken und Treppen.

Bauteil	Nutzlast ca. kg/qm
Balkenlage in Wohngebäuden	250
Balkenlage in Fabrik- und Lagergebäuden	500
Balkenlage in Getreidespeichern	600—750
Gewölbte Decken aus porigen Steinen in Wohngebäuden . . .	250
Gewölbte Decken aus Vollsteinen	370
Gewölbte Decken in Fabrikgebäuden	620
Gewölbte Decken unter Durchfahrten und befahrenen Höfen . .	800
Treppen	400—500

ANHANG

I. Tabellen für das Verhältnis von Stromstärke zur Leistung

Leistung in kW abhängig von der Stromstärke in Amp.

Für Gleichstrom ist $\text{kW} = \frac{\text{Volt} \times \text{Amp.}}{1000}$

Für Drehstrom ist $\text{kW} = \frac{1{,}73 \times \cos\varphi \times \text{Volt} \times \text{Amp.}}{1000}$

Amp.	Gleichstrom			Drehstrom							
	110 Volt	220 Volt	440 Volt	125 Volt		220 Volt		380 Volt		500 Volt	
				$\cos\varphi =$ 1,0	0,8	$\cos\varphi =$ 1,0	0,8	$\cos\varphi =$ 1,0	0,8	$\cos\varphi =$ 1,0	0,8
1	0,11	0,22	0,44	0,216	0.173	0,381	0,304	0.657	0.526	0.865	0,692
10	1,10	2,20	4,40	2,16	1,73	3,81	3,04	6,57	5,26	8,65	6,92
11	1.21	2,42	4,84	2,38	1,90	4,19	3,35	7,23	5.78	9,51	7,61
12	1,32	2,64	5,28	2,59	2.07	4,57	3,65	7,89	6,31	10,4	8,30
13	1,43	2,86	5,72	2,81	2,25	4.95	3,96	8,55	6,84	11,2	9,00
14	1,54	3,08	6,16	3,03	2,42	5,33	4,26	9,20	7,36	12,1	9,69
15	1,65	3,30	6,60	3,24	2,59	5,71	4,57	9,86	7,89	13,0	10,4
16	1,76	3.52	7 04	3,46	2,77	6.09	4.82	10,5	8,41	13,8	11,1
17	1,87	3,74	7,48	3,68	2,94	6.47	5.18	11.2	8.94	14,7	11,8
18	1,98	3.96	7,92	3,89	3,11	6,85	5,40	11,8	9,47	15,6	12,5
19	2,09	4,18	8,36	4,11	3,29	7,23	5.78	12,5	9.99	16,4	13,1
20	2,20	4,40	8,80	4,32	3,46	7,61	6,09	13,1	10,5	17,3	13,8
22	2,42	4,84	9,68	4.76	3,81	8,37	6,70	14,5	11,6	19,0	15,2
24	2,64	5.28	10.6	5,19	4,15	9,13	7,31	15.8	12,6	20,8	16,6
26	2,86	5,72	11,4	5,62	4,50	9.90	7,92	17,1	13,7	22,5	18,0
28	3,08	6,16	12,3	6,06	4,84	10.7	8,52	18,4	14.7	24.2	19.4
30	3.30	6,60	13,2	6,49	5,19	11.4	9.13	19,7	15,8	25.9	20,8
32	3,52	7,04	14,1	6,92	5.54	12,2	9,74	21,0	16,8	27,7	22,1
34	3,74	7,48	15,0	7,35	5.88	12.9	10.3	22,3	17,9	29,4	23,5
36	3,96	7,92	15,8	7,78	6,23	13,7	11.0	23,7	18,9	31,1	24,9
38	4,18	8,36	16,7	8,22	6,57	14,5	11.6	25.0	20,0	32.9	26,3
40	4,40	8.80	17,6	8,65	6,92	15,2	12,2	26,3	21,0	34,6	27,7
45	4.95	9,90	19,8	9,73	7,78	17,1	13,7	29,6	23,7	38,9	31,1
50	5,50	11.0	22.0	10,8	8,65	19,0	15,2	32,9	26,3	43.2	34,6
55	6,05	12,1	24,2	11,9	9,51	20,9	16,7	36,2	28.9	47,6	38,1
60	6,60	13,2	26,4	13,0	10,4	22,8	18,3	39,4	31,6	51,9	41,5
65	7,15	14,3	28,6	14,1	11,2	24,7	19.8	42,7	34,2	56.2	45,0
70	7,70	15,4	30,8	15,1	12,1	26,6	21,3	46,0	36,8	60,5	48,4
75	8,25	16,5	33,0	16,2	13,0	28,5	22,8	49,3	39,4	64,9	51,9
80	8,80	17 6	35,2	17,3	13,8	30,4	24,4	52,6	42,1	69,2	55,4
85	9,35	18,7	37,4	18,4	14,7	32,3	25,9	55,9	44,7	73,5	58,8
90	9,90	19,8	39,6	19,5	15,6	34,2	27,4	59,2	47,3	77,8	62,3
95	10,4	20,9	41,8	20,5	16,4	36,2	28,9	62,4	50,0	82,2	65,7
100	11,0	22,0	44,0	21,6	17,3	38,1	30,4	65,7	52,6	86,5	69,2
1000	110	220	440	216	173	381	304	657	526	865	692

Wenn Stromstärken unter 10 Amp. oder über 100 Amp. vorkommen, so ist zunächst der zehnmal größere bzw. zehnmal kleinere Wert aufzusuchen und das Ergebnis durch 10 zu teilen bzw. mit 10 zu multiplizieren.

$\cos\varphi$ siehe Seite 231.

Stromstärke in Amp. abhängig von der Leistung in kW.

Für Gleichstrom ist $\text{Amp.} = \dfrac{1000 \times \text{kW}}{\text{Volt}}$.

Für Drehstrom ist $\text{Amp.} = \dfrac{1000 \times \text{kW}}{1{,}73 \times \cos\varphi \times \text{Volt}}$

kW	Gleichstrom			Drehstrom							
	110 Volt	220 Volt	440 Volt	125 Volt		220 Volt		380 Volt		500 Volt	
				cos φ = 1,0	cos φ = 0,8	cos φ = 1,0	cos φ = 0,8	cos φ = 1,0	cos φ = 0,8	cos φ = 1,0	cos φ = 0,8
0,1	0,909	0,455	0,227	0,462	0,578	0,263	0,328	0,152	0,190	0,116	0,144
1,0	9,09	4,55	2,27	4,62	5,78	2,63	3,28	1,52	1,90	1,16	1,44
1,1	10.0	5,00	2,50	5,09	6,36	2,89	3,61	1,67	2,09	1,27	1,56
1,2	10,9	5,45	2,73	5,55	6,94	3,15	3,94	1,82	2,28	1,39	1,73
1,3	11,8	5,91	2,95	6,01	7,51	3,41	4,27	1,98	2,47	1,50	1,88
1,4	12,7	6,36	3,18	6,47	8,09	3,68	4,60	2,13	2,66	1,62	2,02
1,5	13,6	6,82	3,41	6,94	8,67	3,94	4,93	2,28	2,85	1,73	2,17
1,6	14,5	7,27	3,64	7,40	9,25	4,20	5,25	2,43	3,04	1,85	2,31
1,7	15,5	7,73	3,86	7,86	9,83	4,47	5,58	2,59	3,23	1,96	2,45
1,8	16,4	8,18	4,09	8,32	10,4	4,73	5,91	2,74	3,42	2,08	2,60
1,9	17,3	8,63	4,32	8,79	11,0	4,99	6,24	2,89	3,61	2,20	2,74
2,0	18,2	9,09	4,55	9,25	11,6	5,25	6,57	3,04	3,80	2,31	2,89
2,2	20,0	10,0	5,00	10,2	12,7	5,78	7,22	3,35	4,18	2,54	3,18
2,4	21,8	10,9	5,45	11,1	13,9	6,30	7,88	3,65	4,56	2,77	3,47
2,6	23,6	11,8	5,91	12,0	15,0	6,83	8,54	3,95	4,94	3,01	3,75
2,8	25,5	12,7	6,36	12,9	16,2	7,36	9,19	4,26	5,32	3,24	4,04
3,0	27,3	13,6	6,82	13,9	17,3	7,88	9,85	4,56	5,70	3,47	4,33
3,2	29,1	14,5	7,27	14,8	18,5	8,41	10,5	4,87	6,08	3,70	4,62
3,4	30,9	15,5	7,73	15,7	19,6	8,93	11,2	5,17	6,46	3,93	4,91
3,6	32,7	16,4	8,18	16,6	20,8	9,46	11,8	5,48	6,84	4,16	5,20
3,8	34,5	17,3	8,63	17,6	22,0	9,98	12,5	5,78	7,22	4,39	5,49
4,0	36,4	18,2	9,09	18,5	23,1	10,5	13,1	6,08	7,60	4,62	5,78
4,5	40,9	20,5	10,2	20,8	26,0	11,8	14,8	6,84	8,55	5,20	6,50
5,0	45,4	22,7	11,4	23,1	28,9	13,1	16,4	7,60	9,50	5,78	7,22
5,5	50,0	25,0	12,5	25,4	31,8	14,4	18,1	8,37	10,4	6,36	7,94
6,0	54,5	27,3	13,6	27,7	34,7	15,8	19,7	9,13	11,4	6,94	8,66
6,5	59,1	29,5	14,8	30,0	37,6	17,1	21,3	9,89	12,3	7,51	9,39
7,0	63,6	31,8	15,9	32,4	40,5	18,4	23,0	10,6	13,3	8,09	10,1
7,5	68,2	34,1	17,0	34,7	43,3	19,7	24,6	11,4	14,2	8,67	10,8
8,0	72,7	36,4	18,2	37,0	46,2	21,0	26,3	12,2	15,2	9,25	11,5
8,5	77,3	38,6	19,3	39,3	49,1	22,3	27,9	12,9	16,1	9,83	12,3
9,0	81,8	40,9	20,5	41,6	52,0	23,6	29,6	13,7	17,1	10,4	13,0
9,5	86,4	43,2	21,6	43,9	54,9	25,0	31,2	14,4	18,0	11,0	13,7
10	90,0	45,5	22,7	46,2	57,8	26,3	32,8	15,2	19,0	11,6	14,4
100	909	455	227	462	578	263	328	152	190	116	144

Wenn Leistungen unter 1 kW oder über 10 kW vorkommen, so ist zunächst der zehnmal größere bzw. zehnmal kleinere Wert aufzusuchen und das Ergebnis durch 10 zu teilen bzw. mit 10 zu multiplizieren.

cos φ siehe Seite 231.

Stromstärken in Amp. der Leistungen bis 1000 kVA bei den gebräuchlichsten Drehstrom-Spannungen.

Für Drehstrom ist Amp. $= \frac{1000 \times kVA}{1,73 \times Volt}$

kVA	Amp. bei Volt											
	125	190	220	380	500	1000	1500	3000	5000	6000	10000	15000
1	4,6	3	2,6	1,5	1,2	0,58	0,4	0,19	0,12	0,1	0,06	0,04
2	9,2	6,1	5,3	3,0	2,3	1,16	0,8	0,39	0,23	0,19	0,12	0,08
3	13,9	9,1	7,9	4,6	3,5	1,74	1,2	0,58	0,35	0,29	0,17	0,12
5	23,1	15,2	13,1	7,6	5,8	2,89	1,9	0,96	0,58	0,48	0,29	0,19
7,5	34,6	22,8	19,7	11,4	8,7	4,33	2,9	1,45	0,87	0,72	0,43	0,29
10	46,2	30,4	26,3	15,2	11,6	5,8	3,9	1,9	1,16	0,96	0,58	0,39
15	69,4	45,6	39,4	22,8	17,3	8,7	5,8	2,89	1,73	1,45	0,87	0,58
20	92,5	60,9	52,5	30,4	23,1	11,6	7,7	3,85	2,31	1,93	1,16	0,77
25	115,6	76,1	65,7	38	28,9	14,5	9,6	4,82	2,89	2,41	1,45	0,96
30	138,7	91,3	78,8	45,6	34,7	17,4	11,6	5,78	3,47	2,89	1,74	1,16
40	185,0	121,7	105	60,8	46,2	23,1	15,4	7,71	4,62	3,86	2,31	1,54
50	231,2	152,1	131,4	76	57,8	28,9	19	9,6	5,78	4,8	2,89	1,9
60	277,5	182,5	157,6	91,3	69,4	34,7	23,1	11,6	6,94	5,78	3,47	2,31
70	323,7	213	183,9	106,5	80,9	40,5	27	13,5	8,09	6,74	4,05	2,7
85	393,1	258,6	223,3	129,3	98,3	49,1	32,7	16,4	9,83	8,19	4,91	3,27
100	462,5	304,2	262,7	152,1	115,8	57,7	39	19,2	11,6	9,6	5,8	3,9
125	578,1	380,3	328,4	190,1	144,5	72,3	48,2	24,1	14,5	12	7,23	4,82
150	693,7	456,3	394,1	228	173,4	86,7	58	28,9	17,3	14,5	8,67	5,8
175	809,4	532,4	459,8	266,2	202,3	101,2	67,4	33,7	20,2	16,9	10,1	6,74
200	925,0	608,5	525,4	304,2	231,2	115,6	77	38,5	23,1	19,3	11,6	7,7
250	1156	760,6	656,8	380	289	144,5	96	48,2	28,9	24,1	14,5	9,6
300	1387	912,7	788	456,3	346,8	173,5	116	57,8	34,7	28,9	17,4	11,6
350	1619	1065	919,6	532,4	404,6	202,3	134,8	67,4	40,5	33,7	20,2	13,5
400	1850	1217	1051	608,5	462,4	231,2	154	77,1	46,2	38,6	23,1	15,4
450	2081	1369	1182	684,5	520,2	260,1	173,4	86,7	52	43,4	26	17,3
500	2312	1521	1314	760	578	289	190	96	57,8	48	28,9	19
600	2775	1825	1576	912,6	693,6	346,8	231	115,6	69,4	57,8	34,7	23,1
700	3237	2130	1839	1065	809,3	404,7	270	134,9	80,9	67,4	40,5	27
800	3700	2434	2102	1217	924,9	462,4	308,3	154,1	92,5	77	46,2	30,8
900	4162	2738	2365	1369	1041	520,3	346,8	173,4	104	86,7	52	34,7
1000	4625	3042	2627	1521	1156	577	390	192	115,6	96	57,7	39

II. Schaltzeichen, Schaltbilder und Kennfarben für Starkstromanlagen.

Auszug aus den Normblättern DIN. VDE. 710—717 und 705.

Die Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Normenausschusses der Deutschen Industrie. Verbindlich für die nachstehenden Angaben bleiben oben genannte Normblätter.

Das Schaltzeichen ist die kürzere Darstellung, die in den Schaltplänen zur Verwendung gelangen muß. Für eine eingehendere Darstellung dient das Schaltbild. Wenn es die Uebersichtlichkeit der Schaltpläne erfordert, können die Schaltzeichen und Schaltbilder um 90° nach rechts oder links oder um 180° gegen die dargestellte Lage gedreht werden, sofern nicht die Lage als solche für die Darstellung von Bedeutung ist.

Stromsysteme und Schaltarten.

Nr.	Schalt-zeichen	Benennung	Nr.	Schalt-zeichen	Benennung
201	—	Gleichstrom	210	Y	Dreiphasen-System in Stern-Schaltung (Buchstabe Y)
202	∿ 50	Wechselstrom allgemein. Die beigesetzte Zahl = Frequenz (Per/s)	211	|||	Dreiphasen-System offen
203	1 ∿ 16⅔	Einphasen-Wechselstrom mit Frequenz	212		Dreiphasen - System in Stern-Schaltung mit Nullpunkt - Klemme bzw. 4 Leitern
204	2 ∿ 40	Zweiphasen-Wechselstrom mit Frequenz	213		Dreiphasen-System in Zickzack-Schaltung
205	3 ∿ 50	Dreiphasen-Wechselstrom mit Frequenz	214	T	Zweiphasen - Dreiphasen-Schaltung (Buchstabe T)
206	|	Einphasen-Wechselstrom	215	✡	Sechsphasen-System in Doppeldreieck-Schaltung
207	L	Zweiphasen-System mit 3 Leitern bzw. Klemmen (Buchstabe L)	216	⬡	Sechsphasen-System in Sechseck-Schaltung
208	X	Zweiphasen-System mit 4 Leitern bzw. Klemmen (Buchstabe X)	217	✳	Sechsphasen-System in Stern-Schaltung
			218	| n	n — Phasensystem offen
209	△	Dreiphasen-System in Dreieck-Schaltung (Buchstabe D)	219		Nullpunkt-Klemme allgemein

Verteilungs- und Leitungspläne.

Nr.	Schalt-zeichen	Benennung	Nr.	Schalt-zeichen	Benennung
301	4000 G 6000	Kraftwerk allgemein. Bemerkung: Die eingetragenen Zahlen bedeuten: oben Leistung in kW, unten Spannung in V	305	10000 S 35000	Schaltstation
302	1000 G 6000	Wärmekraftwerk	306	500 T 6000/380	Transformatoren-Station
303	1000 G 6000	Wasserkraftwerk	307	C	Unterwerk mit umlaufenden Maschinen, Akkumulatoren oder Gleichrichtern
304	1000 G 6000	Wärme- und Wasserkraftwerk	308	250 M 380	Motoren-Station

Nr.	Schaltzeichen	Schaltbild	Benennung
309			Leitung im allgemeinen und oberirdische (Freileitungen) im besonderen
310			Unterirdische Leitung Bemerkung: In den nachstehenden Schaltzeichen geben die zum Hauptstrich senkrechten, kurzen Querstriche die Pol- oder Phasenzahl der in gemeinsamem Leitungzug verlaufenden Leiter an, die zusammen einen Stromkreis bilden, z. B. einen Stromkreis aus 4 Leitern.
311			Leitung aus 1 Leiter allgemein oder Freileitung bzw. unterirdisch
312			Leitung aus 2 Leitern allgemein oder Freileitung bzw. unterirdisch
313			Leitung aus 3 Leitern allgemein oder Freileitung bzw. unterirdisch Bemerkung: Falls erwünscht, ist anzugeben: die Stromart und die Spannung in Volt über dem Leitungstrich, Zahl und Querschnitte der Leiter in mm^2 und die Länge der Leitung in km unter dem Leitungstrich, wie die nachfolgenden Beispiele zeigen.
314			Kreuzung von Leitungen ohne Verbindung z. B. mit je 3 Leitern
315			Leitende Verbindung von Stromkreisen z. B. 2 zu je 2 Leitern
316			Abzweigung von Stromkreisen z. B. 2 Leiter aus 3 Leitern
317	— 440 50	— 440 50	Leitung für 440 V Gleichstrom, bestehend aus zwei Leitern zu 50 mm^2
318	— 2 · 220 50 + 25 + 50	— 2 · 220 50 + 25 + 50	Leitung für 2 × 220 V für Gleichstrom, bestehend aus 3 Leitern zu 50 + 25 + 50 mm^2
319	1~ 16⅔ 15000 65		Leitung für Einphasenstrom, 16⅔ Perioden, 15 000 V, bestehend aus 3 Stromkreisen zu je 2 Leitern von 65 mm^2
320	3~50 35000 50 3~50 35000 35		Leitung für Drehstrom, 50 Perioden, 35 000 V, bestehend aus 2 Stromkreisen zu je 3 Leitern, die einen 50, die andern 25 mm^2
321	— 440 95 — 110 240		Unterirdische Gleichstromleitung, bestehend aus 2 Stromkreisen, einer für 440 V, bestehend aus 2 Leitern von je 95 mm^2, und einer für 110 V, bestehend aus 2 Leitern von je 240 mm^2
322	3~ 50 6000 95 3~ 50 6000 50 3~ 50 6000 25		Leitung für Drehstrom, 50 Perioden, 6000 V, bestehend aus 3 Stromkreisen zu je 3 Leitern von 95, 50 und 25 mm^2
323			Freileitung an Holzmasten
324			Freileitung an Eisenmasten
325			Freileitung an eisernen Gittermasten
326			Freileitung an Eisenbetonmasten
327			Freileitung auf Stützpunkt mit Zuganker
328			Freileitung auf Stützpunkt mit Strebe

Apparate, Maschinen und Meßgeräte.

Allgemeines.

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
401	a	a Für stufenweise Regelung
	b	b Für stetige Regelung
402		Querstriche zur Kennzeichnung von einpoligen, zweipoligen oder dreipoligen Schaltgeräten
403	*	Kupplung zwei- oder mehrpoliger Schaltgeräte, z. B. dreipoliger Hebelschalter
404		Klemme oder Kontakt allgemein auch mit Drehpunkt
405		Allgemeines Zeichen der Selbsttätigkeit eines Schaltgerätes
406	a b	Besondere Zeichen für Selbstauslösung a durch Hilfstrom b durch Nullspannung
407	a b	Besondere Zeichen für Auslösung a durch Überstrom b durch Nullstrom
408		Besonderes Zeichen für Auslösung durch Überstrom — Rückstrom
409		Besonderes Zeichen für Fernschalter Ein- u. Ausschalten durch Hilfstrom
410		Hilfskontakte, Anwendungsbeispiel f. einen dreipoligen Hebelschalter
411		Motorisch gesteuerte Schaltgeräte
412		Durch Druckluft gesteuerte Schaltgeräte
413	a b	Apparat a im Ölbad b gekapselt in Gußeisen
414		„R" Ohmscher Widerstand, praktisch ohne Induktivität
415		„L" induktiver Widerstand, praktisch ohne Ohmschen Widerstand
416		„L" und „R" Ohmscher Widerstand mit Induktivität, außerdem Wicklungen

* Gilt als Schaltbild.

Verbindungs-, Unterbrechungs- und Sicherheitsapparate.

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
501		Flüssigkeitswiderstand Anlasser und Regler
502	a b	Anlasser a für Reihenschlußmotoren b für Nebenschlußmotoren
503	a b	Anlasser, ausschaltend a bei Überstrom und Nullspannung b bei Nullspannung
504		Anlasser mit Nebenschlußregler
505		Anlasser für Drehstrommotoren
506		Anlasser f. Einphasenmotoren mit Drosselspule
507		Sterndreieckschalter
508	a b	Regler a ausschaltbar b nicht ausschaltbar
509		Nebenschlußregler Erregerregler mit Kurzschlußkontakt
510		Fahrschalter Kontroller Steuerwalze

Nr.	Schaltzeichen	Schaltbild	Benennung
511			Ein- und Ausschalter
512			Selbsttätiger Ausschalter
513			Selbsttätiger Ausschalter auslösend bei Überstrom
514			Selbsttätiger Ausschalter auslösend bei Überstrom und Nullspannung
515			Schalter mit Hörnerkontakten
516			Ölschalter
517			Schalter in Gußeisen gekapselt
518			Schutzschalter
519			Umschalter für 2 Wege, mit Unterbrechung
520			Umschalter für 3 Wege, mit Unterbrechung
521			Umschalter für 2 Wege, ohne Unterbrechung
522			Magnetausschalter
523			Trennstück oder Trennschalter auch mit Kupplungsverbindung, doppelte Unterbrechung
524			Trennschalter mit Drehpunkt einfache Unterbrechung
525			Trennschalter mit Drehpunkt doppelte Unterbrechung
526]			Trenn-Umschalter
527			Sicherung allgemein

Nr.	Schaltzeichen	Schaltbild	Benennung
528			Streifensicherung
529			Rohrsicherung
530			Schraubsicherung
531			Hörnersicherung
532			Trennsicherung
533			Rohr-Trennsicherung
534			Hörner-Trennsicherung
535			Funkenstrecke als Überspannungsschutz
536			Funkenstrecke mit Rollen
537			Kugelkalotten-Funkenstrecke
538			Hörner-Funkenstrecke
539		wie Schaltzeichen	Durchschlagsicherung
540		wie Schaltzeichen	Hochspannungszeichen
541		wie Schaltzeichen	Kondensator-Kapazität allgemein
542		wie Schaltzeichen	Erdung
543		wie Schaltzeichen	Erdung über Kapazität
544		wie Schaltzeichen	Temperaturkontakt
545		wie Schaltzeichen	Akkumulatorenzelle
546		wie Schaltzeichen	Akkumulatorenbatterie allgemein
547		wie Schaltzeichen	Akkumulatorenbatterie mit unveränderlicher Zellenzahl

Nr.	Schaltzeichen	Schaltbild	Benennung
548		wie Schaltzeichen	Akkumulatorenbatterie mit unveränderlicher Zellenzahl u. Mittelpol
549		wie Schaltzeichen	Einfachzellenschalter
550		wie Schaltzeichen	Doppelzellenschalter
551			Druckknöpfe 1polig
552			Druckknöpfe 2polig
553		wie Schaltzeichen	Steckvorrichtung
554			Vielfachumschalter 1polig für Meßgeräte Die oberen Querstriche geben die Zahl der Meßpfade, die unteren Querstriche die Zahl der Pole an
555			Vielfachumschalter 2polig für Meßgeräte
556			Vielfachumschalter 3polig für Meßgeräte
557		wie Schaltzeichen	Steckvorrichtung für Meßgeräte
558		wie Schaltzeichen	Steckvorrichtung für Meßgeräte, umschaltbar

Transformatoren.

Nr.	Schaltzeichen		Schaltbild	Benennung
	einpolig	mehrpolig		
601				Transformatoren mit getrennten Wicklungen
602				Transformatoren mit Sparschaltung Autotransformatoren

Bemerkung: In den nachfolgenden Schaltzeichen und Schaltbildern bedeuten die eingeschriebenen Zahlen:
links = Leistung in kVA
in der Mitte = Frequenz (kann fortbleiben, wenn in dem betreffenden Schaltplan die Frequenz der Anlage besonders angegeben ist)
rechts oben und unten = Spannungen in V.
Die Schaltart wird durch die in die entsprechenden Kreise einzusetzenden allgemeinen Schaltzeichen in der nach den RET. festgesetzten Lage angegeben. Die Schaltgruppe nach RET. wird rechts neben der Mitte des Schaltzeichens oder Schaltbildes eingetragen.

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Schaltbild	Benennung
603				Einphasen-Transformator 1000 kVA $16^2/_3$ Per/s 6000/400 V
604				Einphasen-Transformator mit Mittelleiter 1000 kVA $16^2/_3$ Per/s 6000/400 V
605				Zweiphasen-Transformator verkettet-offen 100 kVA 50 Per/s 15000/231 V
606				Drehstrom-Transformator Schaltgruppe A_1 6000 kVA 50 Per/s 60000/15000 V
607				Drehstrom-Transformator Schaltgruppe A_2 mit Nullpunktklemme 100 kVA 50 Per/s 6000/400 V
608				Drehstrom-Transformator Schaltgruppe A_3 mit Nullpunktklemme 10 kVA 50 Per/s 15000/400 V
609				Drehstrom-Transformator Schaltgruppe C_1 3000 kVA 50 Per/s 35000/6000 V
610				Drehstrom-Transformator Schaltgruppe C_3 mit Nullpunktklemme 50 kVA 50 Per/s 15000/400 V
611				Drehstrom-Transformator △/✱ 1000 kVA 50 Per/s 15000/400 V

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Schaltbild	Benennung
612	6000 2000 50 5000	6000 2000 50 5000	6000 2000 50 5000	Einphasen-Spartransformator 2000 kVA 50 Per/s 6000/5000 V
613	6000 1000 50 5000	6000 1000 50 5000	6000 1000 5000	Dreiphasen-Spartransformator Schaltung Y 1000 kVA 50 Per/s 6000/5000 V
614				Induktionsregler, Drehtransformator allgemein
615	6000 100 50 100000	6000 100 50 100000	6000 100 50 100000	Einphasen-Tranformator 1polig geerdet 100 kVA 50 Per/s 6000/100000 V
616	6000 100 50 A_2 231	6000 100 50 A_2 231	6000 100 50 A_2 231	Drehstrom-Transformator Schaltgruppe A_2 Nullpunkt geerdet 100 kVA 50 Per/s 6000/231 V
617	6000 10 50 B_3 231	6000 10 50 B_3 231	6000 10 50 B_3 231	Drehstrom-Transformator Schaltgruppe B_3 Nullpunkt geerdet und herausgeführt 10 kVA 50 Per/s 6000/231 V
618	6000 C_3 400 50 100	6000 C_3 400 50 100	6000 C_3 400 50 100	Zur Darstellung in wagerechter Anordnung sind die Schaltzeichen und Schaltbilder um 90° im entgegengesetzten Sinne des Uhrzeigers zu drehen.

Maschinen und Umformer.

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Benennung	Nr.	Schaltzeichen einpolig	Benennung
701	G	Generator allgemein	703	M/G	Motor u. Generator allgemein
702	M	Motor allgemein	704	G M	Gleichstrom-Generator oder -Motor allgemein

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung
705			Reihenschluß-Gleichstrom-Generator bzw. -Motor
706			Nebenschluß-Gleichstrom-Generator bzw. -Motor
707			Doppelschluß-Gleichstrom-Generator bzw. -Motor
708			Spannungsteiler, z. B. bei Doppelschluß-Gleichstrom-Generatoren
709			Wechselstrom-Kommutator-Motor allgemein
710			Einphasen-Reihenschluß-Motor
711			Drehstrom-Reihenschluß-Motor
712			Drehstrom-Nebenschluß-Motor
713			Repulsions-Motor
714			Deri-Motor
715			Synchron-Generator, 1phasig
716			Synchron-Generator, 3phasig
717			Synchron-Generator, 3phasig, in Dreieck geschaltet
718			Synchron-Generator, 3phasig, in Stern geschaltet
719			Synchron-Generator, 3phasig, mit Nullpunktklemme
720			Asynchron-Motor, 1phasig, mit Schleifringläufer
721			Asynchron-Motor, 2phasig, mit Schleifringläufer
722			Asynchron-Motor, 3phasig, mit Schleifringläufer
723			Asynchron-Motor, 3phasig, mit Kurzschlußläufer
724			2 gekuppelte Maschinen
725			Synchron-Generator mit angebauter Erregermaschine
726			Asynchron-Motor, dreiphasig, mit Schleifringläufer, gekuppelt mit Gleichstrom-Generator
727			Drehstrom-Gleichstrom-Einanker-Umformer, 3phasig
728			Drehstrom-Gleichstrom-Einanker-Umformer, 6phasig
729			Gleichrichter
730			Gleichrichter 3phasig
731			Gleichrichter 6phasig

Zu 705–707: Der Motor wird gekennzeichnet durch M

Meßgeräte.

1. Anzeigende Meßgeräte.

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung	Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung
801			Anzeigende Instrumente allgemein	809	W	W	e. Drehstrom, ungleich belastet, mit Nullleiter
802	V	V	Spannungsmesser	810	φ	φ	Leistungsfaktormesser a. allgemein
803	V	V	Elektrostatischer Spannungsmesser	811	φ	φ	b. Drehstrom, gleich belastet
804	A	A	Strommesser	812	φ	φ	c. Drehstrom, ungleich belastet
805	W	W	Wirkleistungsmesser a. allgemein	813	f	f	Frequenzmesser
806	W	W	b. Wechselstrom	814			Stromrichtungzeiger
807	W	W	c. Drehstrom, gleich belastet	815	Ω	Ω	Isolationsmesser
808	W	W	d. Drehstrom, ungleich belastet	816	S	S	Synchronoskop

2. Schreibende Meßgeräte, Zähler, Meßwandler und Relais.

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung	Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Schaltbild	Benennung
817			Schreibendes Meßgerät allgemein	822	Ah	Ah		Amperestundenzähler für Gleichstrom
818	W	W	Beispiel: Leistungsmesser für Wechselstrom	823	A²h	A²h		Amperequadratstundenzähler
819			Zähler allgemein	824	Wh	Wh		Wattstundenzähler allgemein
820	h	h	Beispiele: Stundenzähler	825	Wh	Wh		Wattstundenzähler für Vierleiter-Drehstrom
821	Ah	Ah	Amperestundenzähler	826	A	A	A	Nebenwiderstand zu Strommessern

Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Schaltbild	Benennung
827				Stromwandler
828				Strommesser mit Stromwandler
829				Schreibender Strommesser mit Stromwandler
830				Zähler mit Stromwandler
831				Spannungswandler
832				Leistungsmesser für Drehstrom, ungleich belastet, mit Strom- und Spannungswandler
833				Relais allgemein
834				schließendes Stromrelais
835				öffnendes Leistungsrelais für Drehstrom, ungleich belastet, mit Nulleiter

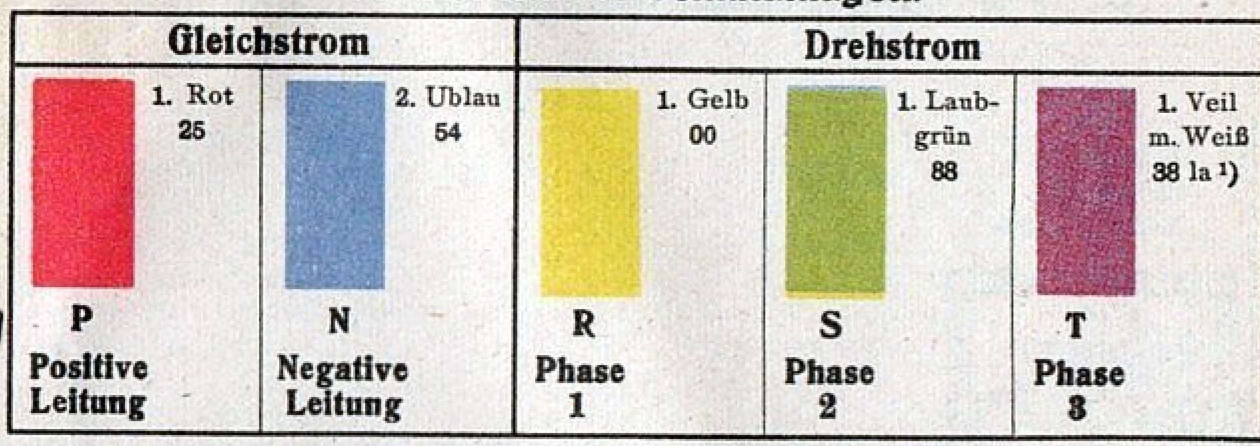
Nr.	Schaltzeichen einpolig	Schaltzeichen mehrpolig	Benennung
836			umschaltendes Frequenzrelais
837			Überstrom-Zeitrelais abhängig
838			Überstrom-Zeitrelais begrenzt abhängig
839			Überstrom-Zeitrelais unabhängig
840			Widerstandsrelais
841			Scheinwiderstandsrelais
842			Blindwiderstandsrelais
843			Differentialstromrelais. Differenzbildung außerhalb des Relais (eine Wicklung)
844			Differentialstromrelais. Differenzbildung innerhalb des Relais (zwei Wicklungen)
845			Verhältnis-Stromrelais

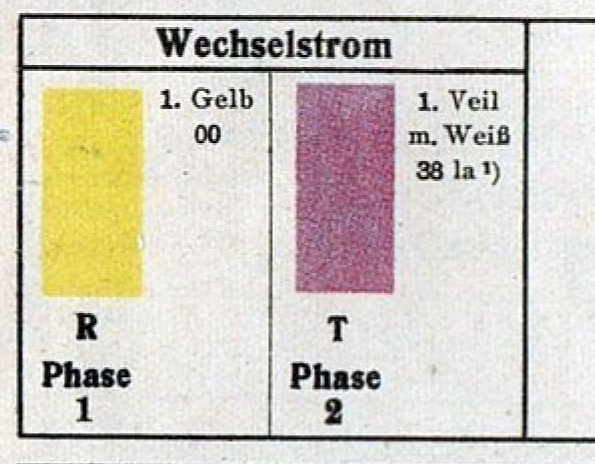
Innen-Installationen.

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
901		Lampe beliebiger Art allgemein
902		Bewegliche Lampe
903	5	Lampenträger mit Lampenzahl
904		Elektrothermischer Apparat beliebiger Art allgemein
905		Installationsschalter (Kleinschalter), 1polig
906		Installationsschalter (Kleinschalter), 2polig
907		Installationsumschalter (Kleinumschalter), 1polig
908		Installationsumschalter (Kleinumschalter), 2polig

Nr.	Schaltzeichen	Benennung
909		Installationssteckdose
910	(g)	Leitungsverlegung auf Isolierglocken
	(r)	auf Rollen
	(o)	in Rohren
911		Von oben kommende oder nach oben führende Leitung
		mit Energieführung nach oben
		mit Energieführung von oben
912		Von unten kommende oder nach unten führende Leitung
		mit Energieführung nach unten
		mit Energieführung von unten

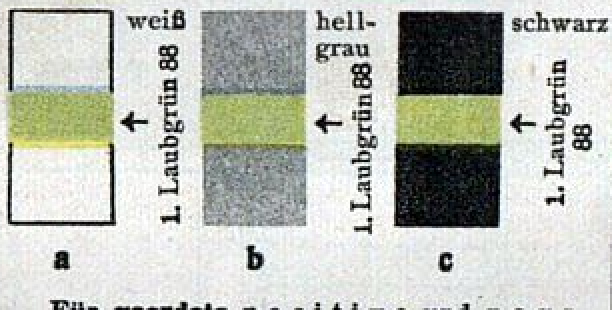
Kennfarben für blanke Leitungen in Starkstrom-Schaltanlagen.



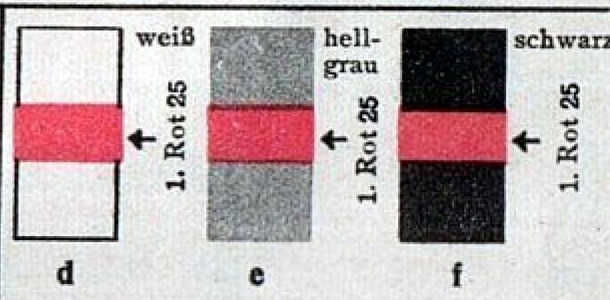


Bildet eine Wechselstromleitung einen Teil eines Drehstromsystems, dann bleiben die entsprechenden Kennzeichen für Drehstrom bestehen.

Geerdete Leiter und ungeerdete Nulleiter bei allen Stromarten



Für **geerdete** positive und negative Leitungen bei Gleichstrom, Phasenleitungen bei Wechsel- und Drehstrom sowie für **geerdete** Nulleiter bei allen Stromarten ist eine der unter a — c angegebenen Farben zu wählen, und zwar so, daß sich diese Farbe von der der angrenzenden Wände, Verkleidungen, Schaltgerüste usw. abhebt.



Für **ungeerdete** Nulleiter ist eine der unter d — f angegebenen Farben zu wählen, und zwar so, daß sich diese Farbe von der der angrenzenden Wände, Verkleidungen, Schaltgerüste usw. abhebt.

Es sind möglichst haltbare Farben zu nehmen. Für die Farbenauswahl gelten die oben angegebenen Zahlen und Buchstaben der Ostwaldschen 100teiligen Farbenskala. Der Anstrich ist auf der ganzen Leitungslänge innerhalb des betriebsmäßig zugänglichen Bereiches der Schaltanlage, mindestens auf der dem Beschauer zugewendeten Seite anzubringen. Die roten Querstriche bei ungeerdeten Nulleitern und die grünen bei allen Erdzuleitungen sind in angemessenen Abständen aufzutragen, so daß der Leitungsverlauf ohne Mühe verfolgt werden kann.

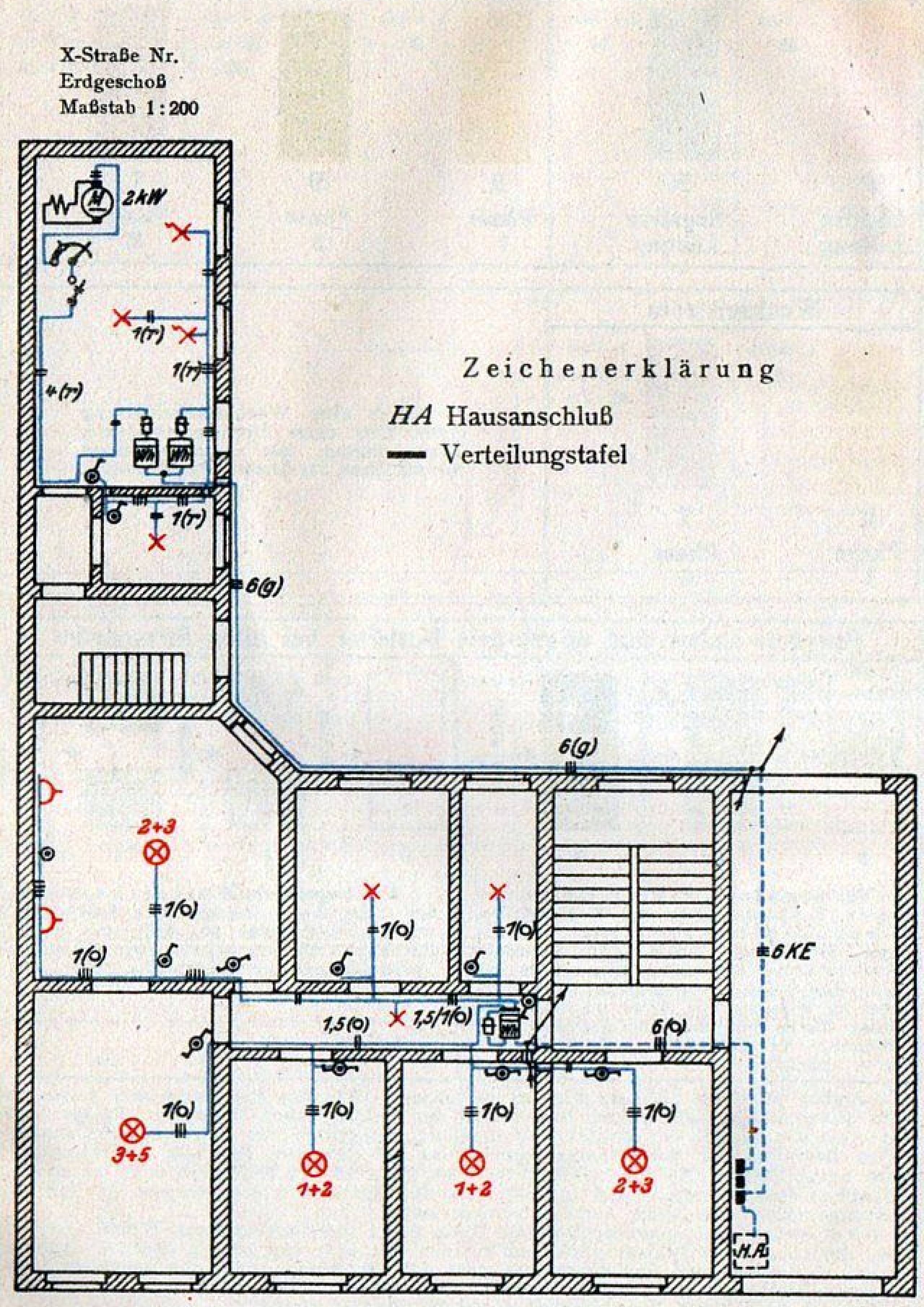
Nicht strom- und spannungführende Teile einer Schaltanlage wie Wände, Gerüste usw., dürfen nur mit Farben gestrichen werden, die sich von obigen deutlich abheben.

Für Umformer- und Gleichrichteranlagen sind drehstrom- wie gleichstromseitig die für diese Stromarten festgelegten Farben zu verwenden. Sechs- und Mehrphasenbetrieb kann durch aufgemalte Kennbuchstaben gekennzeichnet werden.

In Dreileiter-Anlagen werden die Außenleiter nach den allgemeinen Bestimmungen rot und blau und der Mittelleiter als Nulleiter gekennzeichnet. Bei anderen Systemen mit Nulleitern ist sinngemäß zu verfahren.

¹) Veil = Ostwaldsche Bezeichnung für „violett".

III. Installationsplan einer einfachen Beleuchtungs- und Kraftanlage



Belastung: Licht 1,3 kW
Kraft 2 kW

Spannung 2 × 220 Volt

Sachverzeichnis.